



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE  
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## VYUŽITÍ MODERNÍCH METOD PRO VÝROBU PROTOTYPU DRŽÁKU NA VYSOUŠEČ VLASŮ

UTILIZATION OF THE MODERN METHOD FOR A PRODUCTION OF THE  
PROTOTYPE OF THE HAIR DRYER HANDLE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Radek VRÁNA

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. Josef SEDLÁK, Ph.D.

BRNO 2012

Místo tohoto listu bude vloženo zadání (oboustranně). Zadání musí být vevázáno v obou vyhotoveních práce. Do druhého výtisku bude vložena kopie.

Tento list není třeba tisknut!

## ABSTRAKT

Cílem této bakalářské práce je návrh a výroba prototypu dvoudílného univerzálního držáku na vysoušeče vlasů značky ETA. Držák je navrhnut ve 3D CAD systému Autodesk Inventor a vyroben pomocí technologie Rapid Prototyping, metodou Fused Deposition Modeling. Z vyrobeného prototypu většího vzhledového dílu je vytvořena silikonová forma a odlitek z pryskyřice. V závěru práce je zhodnocení obou metod při výrobě prototypů po technicko-ekonomické stránce. Postup návrhu a výroby prototypu oběma metodami je zdokumentován a popsán. Práce obsahuje historii firmy ETA, a.s., stručnou charakteristiku metody Fused Deposition Modeling a technologie odlitku ze silikonové formy. Prototypy budou využity v dalším vývoji držáků pro vysoušeče vlasů značky ETA.

### Klíčová slova

Rapid Prototyping, Fused Deposition Modeling, silikonová forma, držák vysoušeče vlasů, Autodesk Inventor, 3D tiskárna, CatalystEX

## ABSTRACT

Aim of this bachelor work is to design and produce two-part universal holder of ETA hair dryers. Holder is designed in 3D CAD system Autodesk Inventor and is produced by Rapid Prototyping technology using Fused Deposition method. From existing Fused Deposition Modeling prototype of bigger visual part is made silicon mold and cast from resin. There is evaluation of both methods considering technical-economical aspects in the end of my work. Process of design and production using both methods is documented and described. My work includes history of ETA, a.s. company, characteristics of Fused Deposition Modeling method and technology of casting to silicon mold. Prototypes will be used for further development of holders for ETA's hair dryers.

### Key words

Rapid Prototyping, Fused Deposition Modeling, silicon mold, holder of hair dryers, Autodesk Inventor, 3D printer, CatalystEX

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VRÁNA, R. *Využití moderních metod pro výrobu prototypu držáku na vysoušeč vlasů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 49 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Josef Sedlák, Ph.D.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Využití moderních metod pro výrobu prototypu držáku na vysoušeč vlasů** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

---

Datum

---

Radek Vrána

## PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Josefu Sedlákov, Ph.D., za jeho ochotu, cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce. Dále děkuji Ing. Martinovi Macků za pomoc s praktickou částí práce, své rodině a přítelkyni, kteří mi byli po celou dobu velkou oporou.

## OBSAH

ABSTRAKT .....	4
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ .....	6
OBSAH.....	7
ÚVOD.....	8
1 Historický vývoj firmy ETA, a.s. ....	9
1.1 Zajímavá historická ocenění .....	11
2 Výroba prototypů pomocí technologie Rapid prototyping a technologie odlévání do silikonové formy .....	12
2.1 Metoda Fused Deposition Modeling .....	12
Technologie odlévání do silikonové formy .....	13
3 Návrh konstrukce modelu univerzálního držáku na vysoušeč vlasů v programu Autodesk Inventor .....	15
3.1 Autodesk Inventor .....	15
3.2 Návrh konstrukce modelu univerzálního držáku na vysoušeč vlasů .....	16
3.3 Konstrukce univerzálního držáku v programu Autodesk Inventor.....	17
4 Výroba prototypu držáku a silikonové formy.....	23
4.1 Výroba prototypu držáku pomocí technologie Rapid Prototyping.....	23
4.2 Výroba prototypu odlitku ze silikonové formy .....	32
5 TECHNICKO-KONOMICKÉ ZHODNOCENÍ .....	37
5.1 Náklady na výrobu modelu metodou Fused Depositing Modeling .....	37
5.2 Náklady na výrobu silikonové formy .....	38
5.3 Porovnání nákladů na výrobu prototypu pomocí silikonové formy a technologií Rapid Prototyping .....	40
ZÁVĚR .....	44
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	45
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....	47
SEZNAM PŘÍLOH.....	49

## ÚVOD

V současné době existuje celá řada technologií rychlé výroby prototypů (tzv. Rapid Prototyping). Jejich společným znakem je výroba modelů postupným nanášením materiálu po vrstvách na základě CAD dat odeslaných z počítače. Cílem je vyrobit ve velmi krátké době geometricky neomezené tvarové součástky za co nejnižší náklady [1].

U samotného zrodu těchto metod stála společnost 3D SYSTEMS, která si roku 1986 nechala patentovat technologii stereolitografie (SLA). Již o dva roky později byla na světě první 3D tiskárna pro komerční využití. Od této doby nastal velký pokrok ve vývoji těchto zařízení [1,2].

Technologie Rapid Prototyping se v dnešní době používá ve velkém množství průmyslových odvětví např. automobilové, zdravotním, leteckém, stavebním průmyslu. Důvodem velkého využití prototypů vyrobených technologií Rapid Prototyping je vzrůstající pevnost modelů, vysoká povrchová kvalita dílů, rychlost výroby a volba materiálu v závislosti na potřebách zákazníka [1,2].

Hlavním důvodem sepsání práce na toto téma je zájem o metody vizualizace modelů z virtuálního 3D prostředí CAD softwarů a ověřování funkce těchto modelů v praxi.

V této práci bude popsán návrh a výroba prototypu držáku na vysoušeče vlasů od firmy ETA, a.s., s využitím technologie Rapid Prototyping. Návrh je proveden v parametrickém 3D softwaru Autodesk Inventor 2009.

Hlavní částí této práce bude výroba prototypu univerzálního držáku na vysoušeče vlasů. Výroba bude provedena dvěma metodami. První prototyp bude vyroben pomocí technologie Rapid Prototyping - metoda Fused Deposition Modeling. Druhý prototyp bude vyroben technologií odlévání do silikonové formy. Vakuovým odléváním bude vytvořena silikonová forma z již vyrobeného prototypu. Silikonová forma bude použita pro odlitek z pryskyřice. V průběhu výroby obou prototypů budou pořízeny fotografie, které se využijí pro názornost popisu obou metod.

Závěr práce obsahuje srovnání obou metod po stránce technicko-ekonomické. Pro obě metody jsou vypočítány náklady pro různé počty kusů. Tyto náklady jsou graficky porovnány. Výsledkem bude nalezení konkrétní hraniční oblasti, která rozdělí grafickou závislost na oblast, pro kterou je vhodné použít technologii Rapid Prototyping – metodu Fused Deposition Modeling a na oblast, kde již vhodné použít technologii odlévání do silikonové formy.

## 1 HISTORICKÝ VÝVOJ FIRMY ETA, A.S.

Historie firmy Eta začíná již v roce 1910 ve městě Hlinsko v Čechách ve východních Čechách. Na místě dnešního podniku postavil hlinecký podnikatel Josef Tlustý cihelnu. V období krize, roku 1933, se však tento podnik finančně zhroutil a výroba cihel již v původním rozsahu nebyla obnovena. V roce 1937 zde zahájila provoz firma Kudrnáč, která vyráběla gumové obruče pro motorová i jízdní kola, plynové masky a další malé gumové výrobky. V roce 1939 však i tato výroba zaniká. V období mezi roky 1939 a 1943 sloužily budovy jako sklad kůží pro místního podnikatele nebo jako malá výrobní hraček [5].

V roce 1943 zde vznikla Elektrotechnická společnost akciová (ESA). Společnost zde zakládá pražský podnikatel Jan Prošvic (viz. Obr. 1.1) spolu se svým společníkem, továrníkem Vilémem Eckhardtem z Chotěboře. Od této doby se datují počátky výrobního programu elektrospotřebičů pro domácnost v Hlinsku. Z počátku firma oficiálně vyráběla telefonní rozdělovače k protitankovým bateriím Wehrmachtu. V této době zde již probíhala neoficiální výroba jednoduchých elektrických žehliček s keramickou vložkou. Po skončení války se výroba rozšířila o vařiče, teploměry a další výrobky. Roku 1948 byla společnost ESA spolu s dalšími dvěma desítkami závodů začleněna do národního podniku Elektro-Praga Praha a převzala její název. Roku 1950 se při jedné z reorganizací československého průmyslu osamostatnila jako Elektro-Praga Hlinsko [3,5,6].



Obr. 1.1 Jan Prošvic, zakladatel firmy [5].

V roce 1948 byla zakoupena licence švýcarské firmy Maxim-Aurau na výrobu trubkových topných těles oválného průřezu. To odstartovalo výrazný rozvoj výroby elektrických topných těles a následně tepelných spotřebičů. V této době se ve společnosti také začíná projevovat architekt Stanislav Lachman, který se svým designérským týmem pomáhá vytvářet nezaměnitelné portfolio domácích spotřebičů. V roce 1952 se začaly v Hlinsku vyrábět první vysavače pro domácnosti, které sem byly delimitovány od sesterské společnosti Elektro-Praga Jablonec nad Nisou. Tento výrobní program se zanedlouho stal hlavní nosnou činností a od roku 1954 byly výrobky hojně vyváženy, a to i na "západní" trhy. Produkty vysoké kvality se vyvážejí i za hranice východního bloku do Francie a Rakouska. V roce 1953 v Hlinsku vzniklo vývojové a konstruktérské oddělení. Díky němu byla schopna Elektro-Praga Hlinsko každoročně vyvíjet několik nových typů vysavačů [3,4,5,7].

V šedesátých letech pak opět přichází zlom v historii. Společnost registruje pod dnes již všeobecně známou značkou ETA (Elektrotechnické aparáty). Roku 1960 se poprvé



objevuje ochranná známka ETA v oválu (viz. obr. 1.2), kterou výrobce užíval jako obchodní název pro výrobky. Název podniku Elektro-Praga fungoval až do roku 1995 [5].



Obr. 1.2 První logo firmy ETA, a.s. [8].

Přestože od roku 1950 byla Elektro-Praga Hlinsko stále samostatný podnik, několikrát se změnilo její organizační postavení. Od roku 1958 byla dokonce 7 let výrobně hospodářskou jednotkou. Při další změně organizace v průmyslu se Elektro-Praga stala součástí výrobně hospodářské jednotky Praga-Union. I v tomto období se však Elektro-Praga Hlinsko dále rozvíjela. V roce 1988 se opět stala samostatným podnikem, který byl řízen přímo ministerstvem [5].

V rámci příprav na privatizaci byl k 1. 1. 1991 státní podnik přetransformován na akciovou společnost. Byla na něj vydána jedna hromadná akcie a vlastníkem se stal stát, zastoupený Ministerstvem Strojírenství ČR. Státní akciová společnost byla pak zprivatizovaná, a to převážně formou kupónové privatizace. Největší podíly získávají privatizační fondy velkých bank. Vlastníci se ujali svých práv 26. Června 1993 na ustavující valné hromadě [3,5].

Další velkou změnou byla změna názvu Elektro-Praga Hlinsko, a.s., na ETA, a.s., Stalo se tak v roce 1996. Důvodem bylo sjednocení názvu firmy a značky, jak je v tomto oboru obvyklé [3,5,7].

Koncem 90. let 20. století se podnik potýká s hospodářskými problémy. V roce 2001 se stává hlavním vlastníkem společnost Plastkov Liberec. Pod jejím vedením se podstatně rozrostlo portfolio výrobků. Firma Eta, a.s., zaměřila část své výroby na automobilový průmysl a to především na výlisky plastových dílů a kabelové svazky. V tomto roce byla také odprodána část výrobního areálu na výrobu topných spirál a těles, která byla pro firmu Eta jednou z nejdůležitějších činností. Tuto výrobní činnost odkoupila společnost Backer Elektro CZ, s.r.o., Společnost Backer Elektro CZ byla součástí společnosti BACKER GROUP, která spadá pod švédský koncern NIBE INDUSTRIER AB. Hlinecký areál se tím stal jedním z jejích sedmnácti výrobních závodů. Roku 2004 se ETA, a.s., a Plastkov spojily pod jednotné vedení, roku 2005 se však výrobní oddělení opět rozdělilo na dvě divize. První byla Eta – Elektrické spotřebiče a druhá Plastkov – výroba komponentů [3,7]

V roce 2007 kupuje společnost Eta, a.s., investiční skupina Benson Oak Capital a začíná s její restrukturalizací a postupným omlazením. Nový majitel do firmy také přenáší část jím likvidované výroby z BTV Havlíčkův Brod. Podnik ovšem vykazuje trvalé ztráty. Nový majitel také rozdělil dosud organizačně propojenou výrobu pro domácnosti a automobilový průmysl. Střídavě tak výroba pro automobilový průmysl patřila pod ETU (rok 2008), pod Plastkov (rok 2009), nejnověji pod Megatech (rok 2010). Od roku 2008 má ETA, a.s., nové logo (viz. obr. 1.3), které změnila po 60. letech. Pozměňuje také své zaměření a mění se z ryze výrobní společnosti na společnost obchodně-výrobní [3,7,8]



Obr 2.3 Nové logo firmy ETA, a.s. [7].

Od roku 2011 společnost ETA, a.s., zcela opouští výrobu domácích spotřebičů v Hlinsku a vše přesouvá do Milotic nad Bečvou, kde má sídlo spolupracující firma E-technik. V Hlinsku zůstává jen asi 200 zaměstnanců, kteří se starají o logistiku, obchod, sklad a reklamace. Dne 6. 10. 2011 bylo oznámeno, že společnost Benson Oak prodává celou firmu ETA, a.s., obchodnímu řetězci EURONICS ČR, a.s. Zda bude zachována výroba a vývoj v ČR nebo se z ní stane pouze předprodávající společnost není jasné [3].

### **1.1 Zajímavá historická ocenění**

1999: **1. místo v hodnocení českých firem, které jsou podle občanů ČR zárukou kvality** - Agentura ULTEX [3].

1998, 1999: **2. místo v hodnocení nejznámější české značky** - agentura Sofres - Factum (první místo obsadila ŠKODA Auto) [3]

## 2 VÝROBA PROTOTYPŮ POMOCÍ TECHNOLOGIE RAPID PROTOTYPING A TECHNOLOGIE ODLÉVÁNÍ DO SILIKONOVÉ FORMY

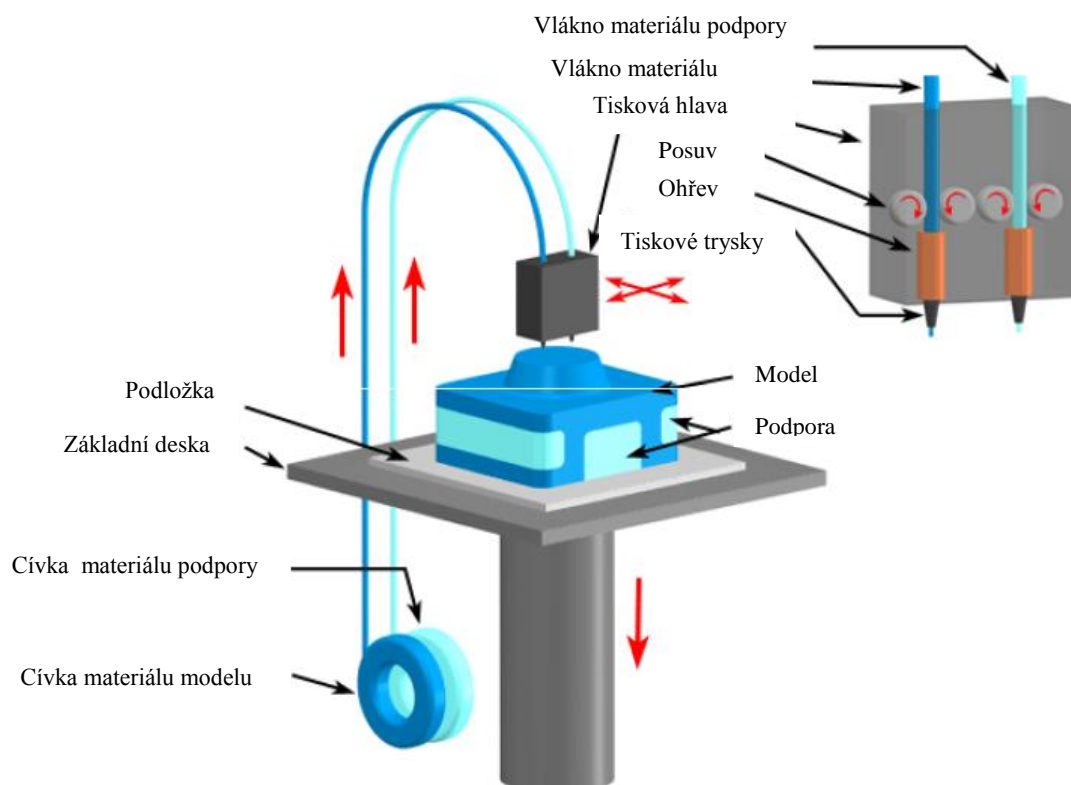
Výroba prototypů pomocí technologie Rapid Prototyping (RP) je technologie, která se začala vyvíjet před více než 20 lety. Dosud bylo vyvinuto více než 30 variant této technologie. V první části bude popsána metoda Fused Deposition Modeling (FDM). V druhé části bude představena technologie odlévání do silikonové formy [9].

### 2.1 Metoda Fused Deposition Modeling

Metoda FDM se objevila na přelomu 80. a 90. let minulého století a jejím vynálezcem byl Scott Crump - spoluzakladatel společnosti Stratasys [9,10,11,12].

Zařízení FDM pracují na principu rozložení počítačového modelu do tenkých vrstev a jejich následné sestavení do reálného modelu v pracovním prostoru tiskárny. Na rozdíl od klasického obrábění se materiál neubírá, ale naopak je po vrstvách přidáván [9,10,11,12].

Materiál ve formě drátu je odvíjen z cívky. Průchodem tavící hlavicí dochází k roztavení materiálu. Model je stavěn na základní desce, která po dokončení každé vrstvy poklesne dolů právě o tloušťku této vrstvy (viz. obr. 2.1). Ke spojení vrstev dochází natavením další vrstvy. Zjednodušeně zařízení funguje na podobném principu jako tavná pistole [9,10,11,12].



Obr. 2.1 Schéma principu metody FDM [13].

Tato technologie využívá dvou materiálů – materiál modelu *ABSplus* a materiál podpory. Materiál podpory se využívá v místech, kde by materiál modelu při tisku musel „viset ve vzduchu“. Po vytvoření dílce se mechanicky odstraní nebo se rozpustí ve speciální lázni [9,10,12].

Celý proces práce 3D tiskárny je zcela automatický bez nutnosti obsluhy. Počítačový CAD model může konstruktér jednoduše poslat na 3D tiskárnu přímo ze své pracovní stanice. Výsledné ABS díly je možno dále povrchově upravovat (tmelením, broušením, lakováním na požadovanou barvu) [9,10,11,12].

Technologie FDM je zejména vhodná pro výrobu funkčních prototypových částí s mechanickými vlastnostmi, které se blíží reálnému výlisku, a pro díly, které se uplatní při výrobě maket a pohledových vzorů [9,10,11,12].

Takto vyrobené části mohou být využívány pro ověření různých konstrukčních variant. Často jsou používány přímo na zkušebních prototypu v reálném provozu. Tímto způsobem je možno dosáhnout významné finanční a časové úspory při výrobě prototypových dílců, kdy už není nutné zdlouhavě vyrábět drahé přípravky a nástroje. Zároveň je eliminována nutnost změny nebo výroby nových přípravků a nástrojů, pokud se neukáže zvolené konstrukční řešení dílu jako optimální [9,10,11,12].

#### **Přednosti technologie Fused Deposition Modeling:**

- lze takto vyrábět téměř libovolný tvar, včetně funkčních nerozebíratelných sestav,
- technologie umožňuje výrobu mechanismů jejich částí,
- prototyp je vyroben v řádu hodin až desítek hodin,
- je možné provádět povrchovou úpravu včetně pokovení [11,12, 13]

#### **Materiálové vlastnosti materiálu ABSplus**

Akrylonitril butadien styren (ABS) je amorfní termoplastický kopolymer, který je odolný vůči mechanickému poškození a může být používán při teplotách -25 až 60°C. Chemická odolnost vůči kyselinám, zásadám, neorganickým solím, vodě atd. je relativně dobrá. ABSplus není odolný vůči aldehydům, ketonům a esterům, v nichž se rozpouští. Je recyklovatelný. Pevnostní vlatnosti materiálu ABS jsou zobrazeny v tab. 2.1.

Tab. 2.1 Porovnání ABS a ABSplus [10].

<b>Mechanické vlastnosti</b>	<b>ABS</b>	<b>ABSplus</b>
Pružnost v tahu	22 MPa	37 MPa
Modul pružnosti při tahovém namáhání	1,627 MPa	1,915 MPa
Poměrné prodloužení	6%	3,1%
Pevnost v ohybu	41 MPa	61 MPa
Modul pružnosti v ohybu	1,834 MPa	1,820 MPa

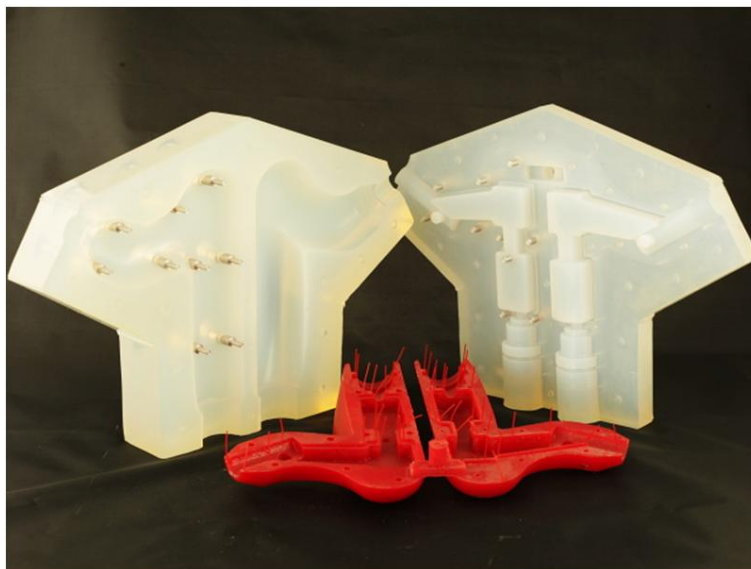
#### **Technologie odlévání do silikonové formy**

Technologie odlévání do silikonové formy ideálně doplňuje technologii 3D tisku metodou FDM. Díky uplatnění obou technologií je možnost vyrábět prototypové části v řádu jednotek až desítek kusů [14].

Princip odlévání do silikonové formy spočívá ve využití tzv. master modelu (k jeho výrobě je možné použít právě technologii FDM, ale může to být i jiným způsobem vyrobený reálný díl), který je zalit do silikonu a po jeho vyjmutí je vyrobena forma pro lití, která je vícenásobně použitelná. Celý proces odlévání formy a odlévání jednotlivých odlitků

probíhá ve vakuové komoře – vakuové lití. Po vyjmutí odlitku z formy je provedena požadovaná povrchová úprava [14].

Technologie odlévání do silikonové formy je vhodná zejména pro výrobu plastových prototypových dílů, dílů pro rozměrové a funkční zkoušky, designové studie nebo pro výrobu náhradních dílů, pro které již není dostupné původní výrobní zařízení. Tuto technologii lze rovněž použít pro výrobu malých sérií prototypových i finálních dílů (viz. obr. 2.2) [14,15].



Obr. 2.2 Silikonová forma s odlitkem [15].

#### **Výhody technologie odlévání do silikonové formy:**

- možnost odlévání tvarově složitých dílů, tenkostěnných dílů nebo dílů s negativními úkosy,
- významná úspora ceny a času ve srovnání s klasickou výrobou kovových forem,
- přesná výroba srovnatelná s přesností dílů vyrobenou metodou vstřikování plastů do kovových forem,
- možná povrchová úprava dílů,
- velmi rychlá výroba v řádu dnů [14,15].

### 3 NÁVRH KONSTRUKCE MODELU UNIVERZÁLNÍHO DRŽÁKU NA VYSOUŠEČ VLASŮ V PROGRAMU AUTODESK INVENTOR

V této kapitole bude popsán postup při návrhu konstrukce držáku na vysoušeč vlasů a jeho následné modelování v programu Autodesk Inventor 2009. Bude také stručně popsán program Autodesk Inventor 2009 a jeho funkce nezbytné pro vytvoření součásti.

#### 3.1 Autodesk Inventor

Autodesk Inventor je softwarová CAD aplikace firmy Autodesk. Již více než 9 let je světově nejprodávanější strojírenskou 3D CAD aplikací [16,17].

Inventor obsahuje funkce pro adaptivní a parametrické 3D navrhování, tvorbu 2D výkresové dokumentace, prezentace, fotorealistické vizualizace a animace, i správu dokumentů a konstrukčních dat. Funkce původní české aplikace Mechsoft Profi nyní tvoří základ pro Inventorem podporované modelování řízené fyzikálními vlastnostmi konstruovaného výrobku - tzv. "funkční navrhování" [16,17].

Základ konstruování v Inventoru tvoří *součásti* (parts, IPT), jejichž geometrie může být odvozena od parametrických 2D *náčrtů* (sketch). Tyto součásti pak mohou být kombinovány a vázány různými typy vazeb do *sestav* (assembly, IAM). Při změně kóty, parametru nebo geometrie je automaticky přegenerována a aktualizována celá 3D sestava, včetně její výkresové dokumentace (pohledy, řezy, detaily, kusovníky). Vedle standardních nástrojů pro tvorbu objemových a povrchových 3D modelů obsahuje Inventor rovněž funkce pro modelování plechových součástí, svařence, ocelové konstrukce [17].

#### Použité příkazy [18]:

- **Vysunout** - Nástroj „Vysunout“ přidá profilu v náčrtu prostor podél vektoru Z a to podle vzdálenosti, která byla zadána. Nástrojem vysunout je možné i odebírat materiál z již vymodelovaných těles. Pokud není profil v náčrtu uzavřený, vytvoří plochu podél vektoru Z.
- **Spline** - 2D a 3D spline jsou křivky s konstantní změnou poloměru, které prochází řadou bodů interpolace. Body spline mohou být částečně nebo plně zakótovány. K vizuálnímu rozlišení jsou koncové body spline čtvercové a body interpolace spline podél křivky jsou ve tvaru kosočtverce.
- **Středový bod kružnice** - Vytvoří kružnici pomocí středu a poloměru.
- **Promítnout křivku na plochu** - V 3D náčrtu se nástroj „Promítnout na povrch“ používá pro promítání křivek a bodů (jako jsou 2D nebo 3D body nebo křivky, pracovní body a hrany nebo plochy součástí nebo povrchů) na plochu nebo skupinu ploch. Promítanou geometrii lze upravovat nebo přerušit její spojení s mateřskou geometrií. Výsledkem je geometrie 3D náčrtu, kterou je možno upravovat nástroji 3D náčrtu.
- **3D náčrt** - Prostředí 3D náčrtu nabízí možnost vytvářet trajektorii pro konstrukční prvky 3D tažení. Konstrukční prvky 3D tažení definují trasované součásti, např. dráty, kabelové spojení a potrubí, v rámci sestavy nebo jednotlivé součásti. Více trasovaných součástí může znázorňovat potrubní rozvody nebo kabelový svazek.

- **Šablonování** - Prvky šablonování se vytvoří sloučením násobných profilů, nazývaných řezy, a jejich přenesením do hladkých povrchů mezi profily nebo plochy součástí. Mimo profilů náčrtů můžou být také vybrány plochy a body objektů, které budou zahrnuty jako šablonované řezy.

**Šablonování může být použito pro:**

1. Vytvoření modelu pevného tělesa.
  2. Vytvoření modelu povrchu pro vygenerování tvaru a následné sešití povrchu do pevného tělesa.
  3. Vytvoření šablonovaných povrchů, které budou použity s příkazem „Vyřezat“, pro vytvoření tvaru nebo úpravu modelu.
- **Sešít plochu** - Plochy lze sešít do sešité plochy. Aby bylo sešití úspěšné, je nutné, aby měly hrany přesně stejnou velikost a musí být přilehlé.
  - **Zesílit** - Nástroj Zesílení přidá zesílení ze součástí a vytvoří odsazené plochy nebo jiné povrchy. Jestliže bude vybrána plocha, výsledkem bude odsazená plocha. Pokud bude vybráno těleso, výsledkem bude konstrukční prvek zesílení.
  - **Zaoblit** - jsou umístěné prvky, které zaoblují vnitřní nebo vnější hrany součástí.

### 3.2 Návrh konstrukce modelu univerzálního držáku na vysoušeč vlasů

Zadání firmy ETA, a.s., bylo vytvořit obdobné držáky na vysoušeče vlasů jako držáky (viz. obr. 3.1 a obr. 3.2) od firmy VALERA, a.s. Držáky by měly mít povrch vakuově pokovený s ochrannou vrstvou krycího laku. Jsou určeny pro všechny typy v současnosti prodáváných fénů kromě atypických cestovních modelů. Upevnění držáku má být realizováno pomocí vrtů na zeď.



Obr. 3.1 Držák tvar vidlice [19].



Obr. 3.2 Držák kruhový tva [19].

Jako vzorový kus pro výrobu držáku byl vybrán držák firmy VALERA, a.s. (viz. obr. 2.1). Výhoda tohoto typu je ukrytí vrtů. Malý technický díl s vrty je přišroubován na zeď. Vnější vzhledový díl je nasunut na malý technický díl.

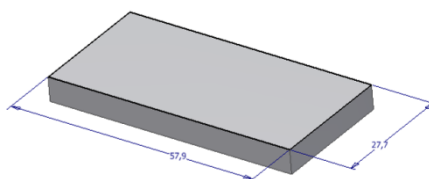
Pro získání potřebných rozměrů bylo změřeno 5 různých typů vysoušečů. Výsledný tvar je kombinací naměřených hodnot a předlohy od firmy VALERA, a.s.

### 3.3 Konstrukce univerzálního držáku v programu Autodesk Inventor.

#### Konstrukce malého technického dílu

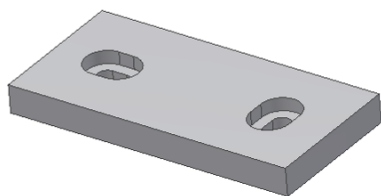
Hlavní požadavek na malý technický díl byl ukrýt hlavy vrtů. Bylo navrženo řešení, kdy je celý technický díl ukryt pod vnějším vzhledovým dílem. Vnější vzhledový díl se pomocí drážek nasouvá na spodní technický díl.

Pro modelování technického dílu v programu Autodesk Inventor byl použit pouze příkaz „Vysunout“. Pomocí tohoto příkazu byl odřezáván materiál ze „základního kvádrů“ materiálu (viz. obr 3.3).

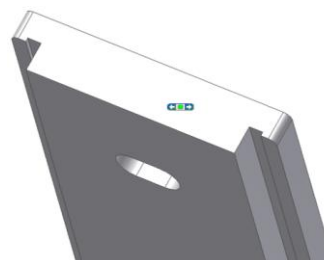


Obr. 3.3 Základní kvádr.

Přípevnění na zeď bylo realizováno pomocí dvou vrtů. Aby bylo možné zasunout malý díl do většího, musely být vrty zapuštěny do materiálu. Pro lepší vyrovnaní byly navrženy 2 otvory, které umožňují malý posun před dotažením vrtů (viz. obr. 3.4)

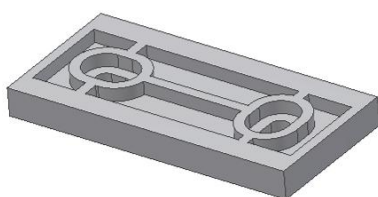


Obr. 3.4 Otvory pro vrty – přední strana technického dílu.

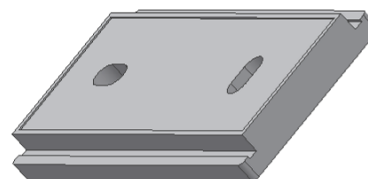


Obr. 3.5 Kolečnice technického dílu.

Dalším krokem bylo vytvoření dvou kolejnic, na které bude nasouván vnější vzhledový díl (viz. obr. 3.5). Protože šlo o univerzální držák pro většinu typů vysoušečů ETA, byl předpoklad výroby velké série. Technický díl byl proto odlehčen na přední straně (viz. obr. 3.6). Odlehčení nesmělo ohrozit případné možné změny tvaru při chladnutí výrobků, a proto byla ponechána žebra. Tím byl technický díl dokončen (viz. obr. 3.7).



Obr. 3.6 Odlehčení technického dílu s žebry.



Obr. 3.7 Hotový technický díl.



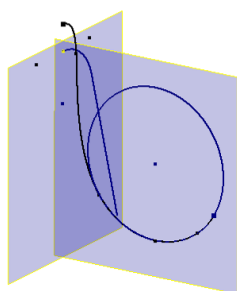
### Konstrukce velkého vzhledového dílu

Hlavním požadavkem na velký vzhledový díl byla jeho univerzálnost. Měl mít takový tvar, aby byl schopný udržet většinu vyráběných typů vysoušeče vlasů.

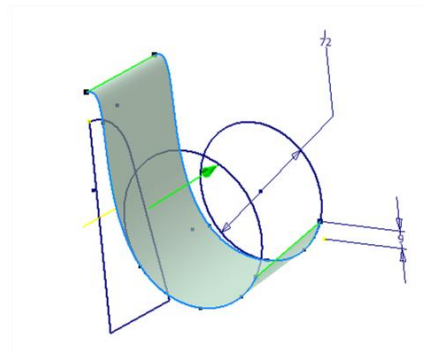
Při modelování vzhledového dílu bylo nutné nemodelovat díl postupným odřezáváním materiálu funkcemi programu. Vzhledový díl byl tvarově velmi složitý, a proto byl modelován pomocí ploch, kterým byla až na závěr přiřazena tloušťka.

První krokem bylo vytvořit předpokládaný tvar dosedací plochy. Na začátku byly promítnuty základní roviny. Náčrt byl umístěn do roviny YZ. Do této roviny byl nakreslen návrh zadního obrysu poloviny držáku. Vzhledem k symetrii modelovaného dílu bude vytvořena pouze polovina, která bude v závěru zrcadlena. Do roviny XY, která je kolmá k rovině s náčrtem, byla nakreslena křivka, která odpovídá předpokládanému tvaru ramene držáku (viz. obr. 3.8). Pro nakreslení tvaru byly použity příkazy „*Spline*“ a „*Středový bod kružnice*“.

Protože vysoušeč vlasů nemá v místě uchycení konstantní průřez, byla ramena navrhována se sklonem a změnou průměru základní křivky po šířce držáku. Výsledného tvaru bylo docíleno tak, že základní křivka ramene byla promítnuta do roviny rovnoběžné s rovinou XY. V této rovnoběžné rovině byl křivce zmenšen poloměr. Následným šablonováním obou křivek bylo docíleno spojitého přechodu mezi křivkami a vytvoření tvaru výsledné dosedací plochy. Výsledkem šablonování nebylo ovšem standardně těleso, ale plocha.



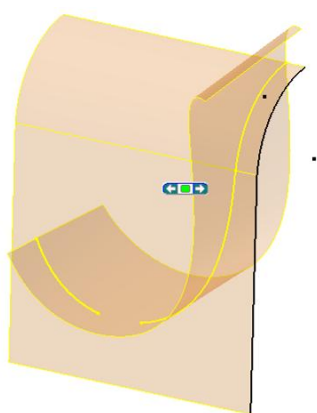
Obr. 3.8 Tvar ramene držáku.



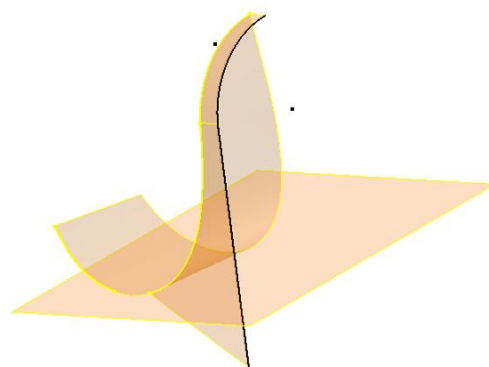
Obr. 3.9 Šablonovaná plocha držáku vnějšího vzhledového dílu.

Pro získání boční hrany držáku bylo nutné vysunout plochu, která odpovídá boční křivce zadního obrysu (viz. obr. 3.10). K tomu byl použit příkaz „*Vysunout*“. Opět byla vysouvána pouze plocha. Touto plochou byla oříznuta dosedací plocha, a tím vznikla hrana modelu.

Druhým krokem bylo vytvořit zadní dutou část, ve které bude schovaný malý technický díl. Aby bylo možné šablonovat boční křivku zadního obrysu na dosedací plochu, musela být promítnuta boční křivka zadního obrysu na dosedací plochu. K tomuto kroku byl použit příkaz „*Promítnout křivku na plochu*“, který se zobrazí, pokud je zvolena možnost „*3D Náčrt*“. Příkazem „*Šablonování*“ byla vytvořena plocha mezi promítnutou křivkou a boční křivkou zadního obrysu (viz. obr. 3.11). Tato plocha byla ještě oříznuta vodorovnou plochou. Tím byla vytvořena spodní rovná hrana.



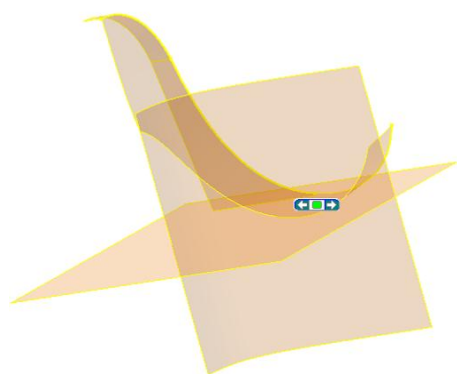
Obr. 3.10 Vysunutá plocha pro oříznutí dosedací plochy.



Obr. 3.11 Tvar ramene držáku.

Třetím krokem bylo vyříznutí parabolického otvoru do dosedací plochy. Do tohoto otvoru bude zasunuto držadlo vysoušeče vlasů. Byl k tomu použit příkaz „*Vysunout*“. Do vodorovné roviny, kterou byla vytvořena spodní hrana, byl nakreslen náčrt s polovinou paraboly. Tato křivka byla vysunuta jako plocha na obě strany (viz. obr. 3.12). Touto plochou byla oříznuta dosedací plocha. Tím vznikl parabolický otvor.

Parabolická plocha byla následně oříznuta vodorovnou rovinou a rovinou dosedací plochy. Těmito řezy byl vytvořen plynulý přechod mezi strmou stěnou dosedací plochy a parabolickým otvorem (viz. obr. 3.13).



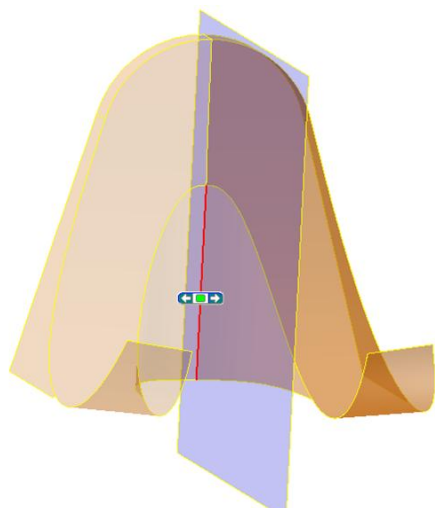
Obr. 3.12 Vysunutá parabolická plocha.



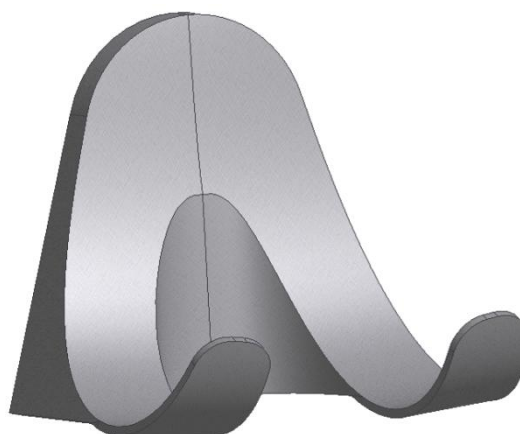
Obr. 3.13 Výsledný parabolický otvor.

Čtvrtým krokem bylo zrcadlení poloviny držáku. Aby bylo možné použít příkaz „Zrcadlit“, musel být zvolen příkaz „Sešít plochu“. Pomocí tohoto příkazu byly všechny vytvořené plochy spojené v jednu. Takto upravený model už bylo možné zrcadlit rovinou zrcadlení XY (viz. obr. 3.14). Po zrcadlení vznikl problém v ostrém přechodu mezi polovinami parabol. Vhodnou úpravou rozměrů bylo docíleno spojení obou polovin do jedné paraboly.

Pro další postup už není nutné využívat modelování pomocí ploch, a proto byl ještě jednou použit příkaz „Sešít plochu“. Tímto příkazem byly spojeny obě poloviny do jedné plochy. Příkazem „Zesílit“ byla následně plochám přiřazena konstantní tloušťka, což je jedno ze základních pravidel při konstruování plastových výlisků. Dále byla příkazem „Zaoblit“ zaoblena obě ramena držáku (viz. obr. 3.15).

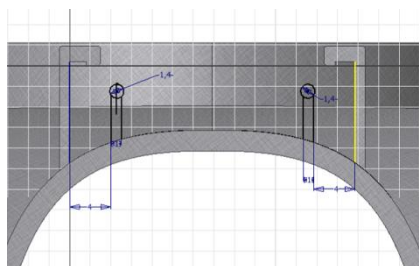


Obr. 3.14 Zrcadlená plocha.

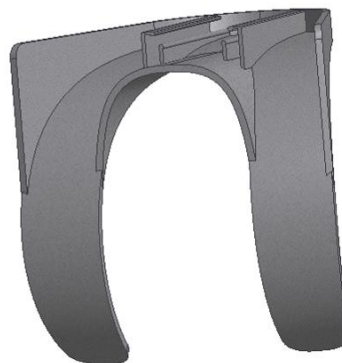


Obr. 3.15 Vzhledový díl s konstantní tloušťkou.

Pátý krok představoval vytvoření kolejnic pro zasouvání malého technického dílu do duté části vnějšího vzhledového dílu. Do roviny rovnoběžné se spodní vodorovnou rovinou byl nakreslený předběžný náčrt kolejnic (viz. obr. 3.16), které byly vytvořeny příkazem „Vysunout“. Pro zajištění dostatečné mezery mezi oběma díly byly vytvořeny dva segmenty, které podpírají malý technický díl. Tyto segmenty byly také vytvořeny jen předběžně. Pro přesné vymodelování bylo nutné vytvořit sestavu z obou dílů.



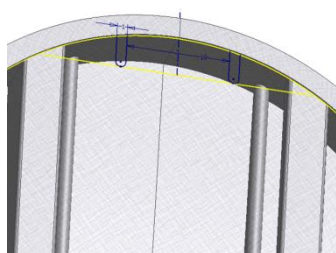
Obr. 3.16 Náčrt kolejnic se dvěma segmenty.



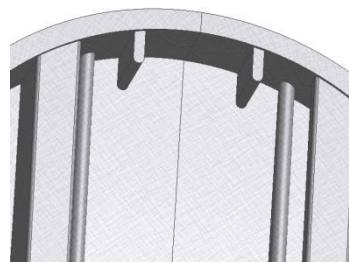
Obr. 3.17 Mechanismus spojující technický díl se vzhledovým dílem.

Šestým krokem bylo přizpůsobení rozměrů kolejnic. Pro přesné rozměry byly použity rozměry technického dílu v sestavě držáku.

Poslední krok představoval vytvoření malých zarážek ve vrchní části modelu. Zakřivením vzhledového dílu vznikl mezi vzhledovým a technickým dílem malý otvor, do kterého byly navrhnuty dvě dosedací plochy technického dílu. Pro konstrukci dosedacích ploch se musel technický díl umístit pomocí vazeb do drážek vzhledového dílu. Vrchní hrana technického dílu byla promítnuta do náčrtu na vzhledovém dílu (viz. obr. 3.18). Do tohoto prostoru byly vymodelovány zarážky, které se těsně dotýkaly promítnuté hrany. Účelem zarážek je rovnoměrněji přenášet tlak při zatížení na horní hranu držáku (viz. obr. 3.19).



Obr. 3.18 Náčrt s promítnutou polohou technického dílu.



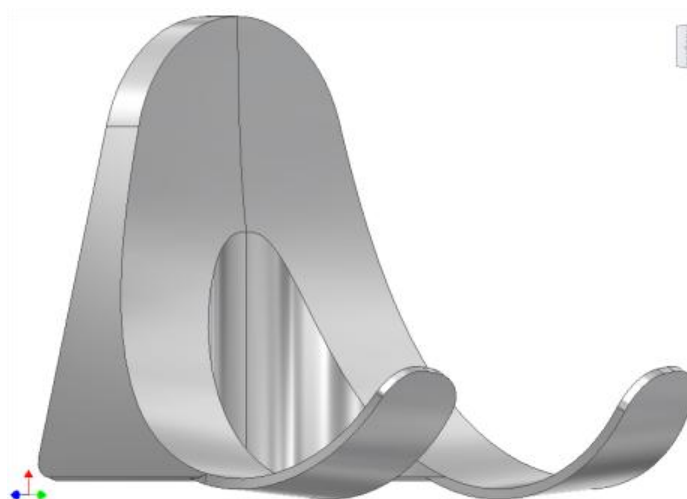
Obr. 3.19 Zarážky.

Obě části držáku byly uloženy do souboru \*.ipt pro následný export do formátu \*.stl, který podporuje 3D tiskárna.

Na závěr byla vytvořena sestava holder.iam obr. 3.20 a obr. 3.21.



Obr. 3.20 Zadní pohled na univerzální držák vysoušeče vlasů.



Obr. 3.21 Přední pohled na univerzální držák vysoušeče vlasů.

## 4 VÝROBA PROTOTYPU DRŽÁKU A SILIKONOVÉ FORMY

V této kapitole bude detailně popsán postup při výrobě prototypu držáku vysoušeče vlasů. První část je věnovaná technologii RP - metoda FDM. Druhá je věnovaná výrobě prototypu technologií odlitku do silikonové formy.

### 4.1 Výroba prototypu držáku pomocí technologie Rapid Prototyping

Tato část obsahuje popis použitých zařízení, softwaru CatalystEX (software ovládající 3D tiskárnu) a postupu tvorby prototypu technologií RP, metodou FDM.

#### 3D tiskárna Dimension uPrint



Obr. 4.1 Tiskárna Dimension uPrint .

3D tiskárna Dimension uPrint (viz. obr. 4.1) je určena pro výrobu přesných a pevných modelů jednotlivých dílů i celých sestav. Reálný model je vytvořen přímým tiskem 3D digitálního CAD modelu. Celý proces výroby probíhá zcela automaticky bez nutnosti dohledu operátora. 3D model ve formátu \*.stl se načte do SW CatalystEX (součást vybavení tiskárny Dimension uPrint) a prostřednictvím počítačové sítě se pošle do tiskárny, kde se okamžitě zahájí proces výroby. Modely jsou vytisknuty z kvalitního ABSplus materiálu, který lze snadno upravovat broušením, tmelením, nástřikem nebo např. pokovováním. Zařízení se vyznačuje velice tichým, čistým provozem a je určeno pro práci v kanceláři [20].

Využití 3D tiskárny je v mnoha odvětvích průmyslu, architektury, medicíny a dalších. Vysoká kvalita modelovacího materiálu, pevnost, tepelná odolnost a rozměrová stabilita dovoluje výrobu přesných funkčních vzorků strojírenských součástí nebo modelů v oblasti průmyslového designu a architektury. Zařízení lze použít i ve slévárenství. Model lze vypálit z keramické formy. Modely jsou určeny pro funkční testování [20].

**Ultrazvuková pračka VGT1990QT**

Obr. 4.2 Ultrazvuková pračka VGT1990QT [21].

Ultrazvuková pračka (viz. obr. 4.2) je zařízení, které se používá k odstranění materiálu podpory tzv. supportu. Ultrazvuková pračka je celokovová vana s ohřevem o objemu 9 litrů. Ta je obklopena ultrazvukovým zařízením o výkonu 240W a frekvenci 40 kHz. Náplň pračky je voda s přidaným koncentrátorem STRATYS. Koncentrátor obsahuje abrazivní částice, které napomáhají odstranění supportu. Doporučený poměr vody a koncentrátoru je přibližně 1:40. Pro zkrácení doby čištění modelu je možné použít roztok koncentrovanější. Celý proces je také podporován ohřevem lázně. Teplota lázně urychluje čištění a rozpouštění nečistot a zvyšuje odmašťovací schopnost. Nastavuje se potenciometrem v rozsahu 20 až 80°C [21].

V této ultrazvukové pračce (čističce) je možné čistit i větší součástky jako jsou karburátory, desky elektroniky, optika, chirurgická ocel, tiskové hlavy a mnoho dalšího [21].

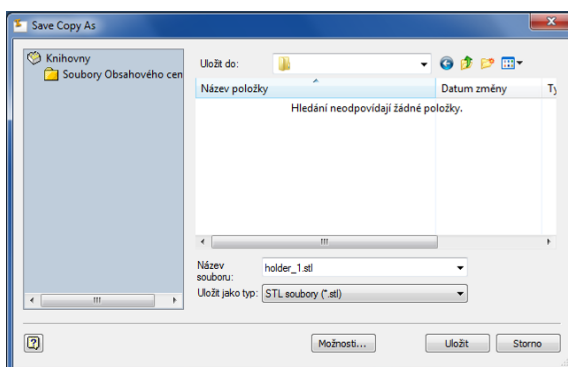
**Software CatalystEX**

Software CatalystEX je dodáván s tiskárnou Dimension uPrint. Pomocí tohoto programu se ovládá celá 3D tiskárna. CatalystEX umožňuje kontrolovat např. náklady, čas, množství použitého materiálu v závislosti na postavení modelu. Je možné kontrolovat rozmístění většího počtu modelů a zkrátit tím dráhy tiskové hlavy.

**Export dat do software CatalystEX**

Software CatalystEX pracuje se soubory ve formátu \*.stl. Soubory \*.STL (Standard Tessellation Language) popisují jen povrchovou geometrii trojrozměrného objektu bez jakékoliv reprezentace barvy, struktury či jiných běžných CAD atributů. Model držáku byl ovšem vytvořen v programu Autodesk Inventor, který používá CAD soubory \*.ipt. Je tedy nutné převést soubor \*.ipt do souboru \*.stl. Tato operace se provede přímo v programu Autodesk Inventor příkazem „Uložit kopii jako“ (viz. obr. 4.3). Tady byl změněn formát souboru na \*.stl a v nabídce „Možnosti...“ bylo nastaveno vysoké rozlišení. Takto upravený soubor je připravený pro práci v softwaru CatalystEX.





Obr. 4.3 příkaz „Uložit kopii jako“.

### Nastavení tisku

Software CatalystEX nabízí velké množství možností jak ovlivňovat konečné vlastnosti modelu. Vhodným nastavením se dá docílit lepších pevnostních vlastností modelů, zkrátit dobu tisku nebo tisknout za nízké náklady.

Software uživateli nabízí nastavení vlastností modelu:

Properties	
Layer resolution:	1 0.0100
Model interior:	2 Solid
Support fill:	3 Sparse
Number of copies:	4 1
STL units:	5 Inches
STL scale:	6 1.000

Obr. 4.4 Tabulka vlastností modelu [22].

#### 1) Layer resolution (Tloušťka vrstvy)

Tloušťka jedné vrstvy ovlivňuje především kvalitu tisknutého modelu. Čím větší je nanášena vrstva na jedno přejetí tiskové hlavy, tím bude mít výsledný model hrubší povrch. Tloušťka jedné vrstvy také souvisí s rychlostí tisku. Čím menší je tloušťka tisknuté vrstvy, tím vyšší bude celková rychlost tisku modelu.

Software CatalystEX nabízí tři tloušťky:

- 0.178 mm (0.007 inch);
- 0.254 mm (0.010 inch);
- 0.330 mm (0.013 inch) [22].

Model byl vytisknut tloušťkou 0.254 mm, protože tiskárna Dimension uPrint s jinou tloušťkou nepracuje.



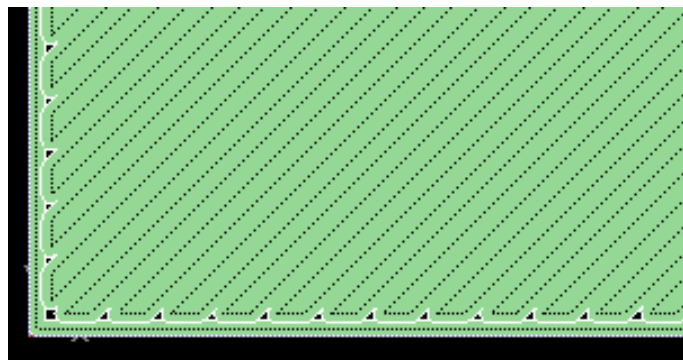
## 2) Model interior (Vyplnění modelu)

Vyplnění modelu se volí s přihlédnutím na jeho použití. Pokud bude vytisknutý díl sloužit jako funkční součástka, bude upravován nebo následně zatěžován během zkoušek. Model se vyplní jiným způsobem, než když model bude sloužit pouze pro lepší názornost a vizualizaci.

Software CatalystEX nabízí tři typy vyplnění modelu:

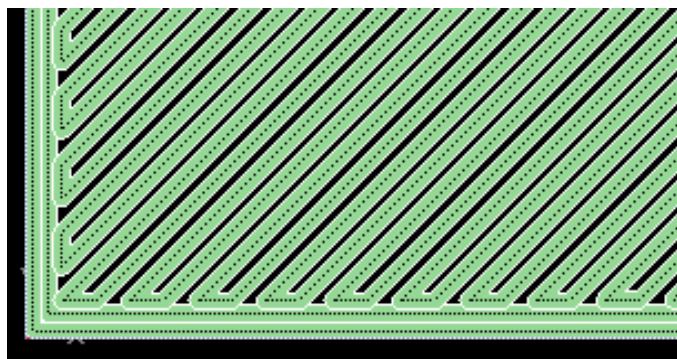
- Solid;
- Sparse – high density;
- Sparse – low density [22].

**Solid (Plný)** – Tento způsob vyplnění modelu se používá, pokud bude součástka sloužit jako funkční díl nebo bude obráběn (výroba závitů, atd.). Tímto typem výplně bude spotřebováno největší množství materiálu a celková doba tisku bude největší. Model bude odolnější a bude mít nejvyšší možné mechanické vlastnosti (viz. obr. 4.5) [22].



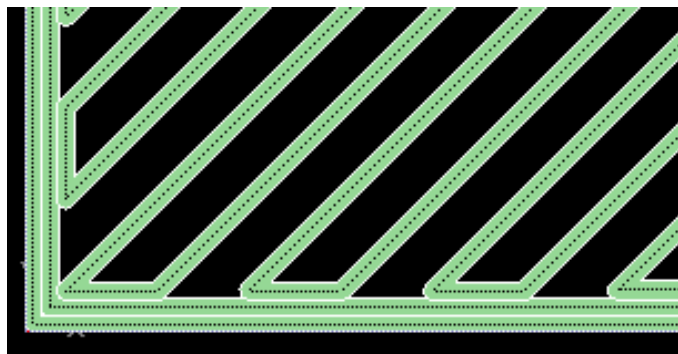
Obr. 4.5 Výplň Solid [22].

**Sparse – high density (Prořídly – vysoká hustota)** – Tento způsob vyplnění modelu je doporučovaný výrobcem. Oproti způsobu Solid jsou vnitřní části tvořeny velkým množstvím drobných žebířků. Dochází tím k úspoře materiálu a zkrácení celkové doby tisku. Takto vyrobená součástka může sloužit jako méně namáhaný díl. Obrábění již není doporučeno (viz. obr. 4.6) [22].



Obr. 4.6 Výplň Sparse – high density [22].

**Sparse – low density (Prořídlý – nízká hustota)** – Při použití tohoto vyplnění je spotřeba materiálu nejnížší a doba tisku nejkratší. Výsledný model má nejnížší hmotnost. Takto vyrobené součástky jsou vhodné k prezentaci modelu před zákazníkem nebo pro vizualizaci. Tento způsob vyplnění je nevhodný pro funkční součástky (viz. obr. 4.7) [22].

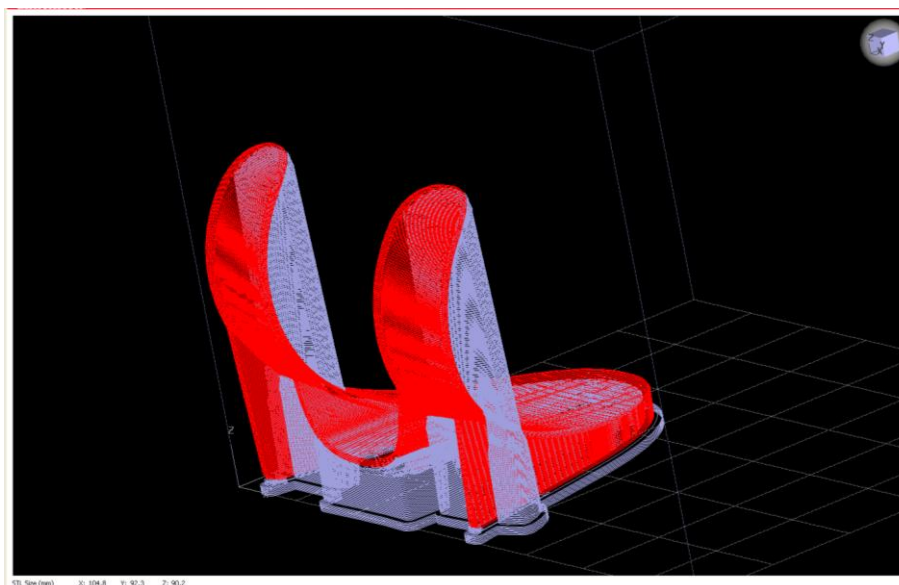


Obr. 4.7 Výplň Sparse – low sensitivity[22].

Při tisku modelu bylo vybráno vyplnění Sparse – high desivity.

### 3) Support fill (Vyplnění podpory)

Při tisku modelu je nutné, aby na některá místa byl dodán další materiál, který bude pomáhat bezpečnému tisku jednoduchých i tvarově složitých modelů. Při tisku jednoduchých modelů je tento materiál – „podpora“ pokládán na podložku pod samotný model. Tiskárna si tím automaticky vytvoří rovnou plochu, na které začne stavět samotný model. Další důvod takto vytvořené podpory je snadné oddělení tisknuté části od podložky. U tvarově složitých modelů tiskárna navíc využívá podporu na stavbu nosných částí, které podpírají např. štíhlé a vysoké části modelu před zbořením během tisku. Jak software vyřešil podepření vzhledového dílu držáku, je vidět na obr. 4.8. Šedá barva znázorňuje materiál podpory a barva červená znázorňuje materiál modelu.



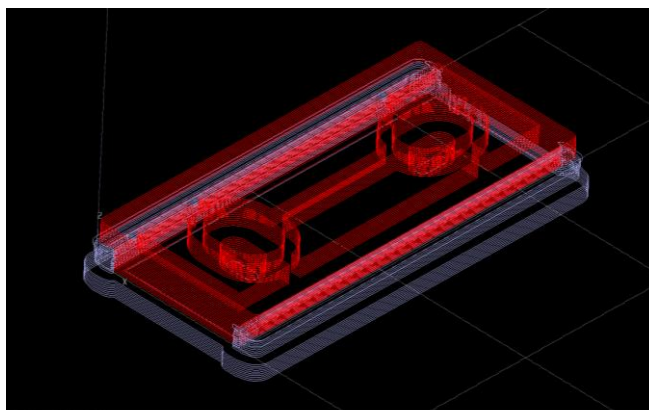
Obr. 4.8 Podepření vzhledového dílu.

Software CatalystEX nabízí pět typů vyplnění podpory:

- Basic;
- Sparse;
- Minimal;
- Break – Away;
- Surround [22].

**Basic (Základ)** – Nastavení vyplnění Basic lze použít pro většinu modelů. Využívá stejnou vzdálenost mezi nanášeným modelem materiálu modelu a materiálu podpory [22].

**Sparse (Prořídlý)** – Toto nastavení minimalizuje množství podpůrných materiálů. Je zde daleko větší vzdálenost rastrových drah podpůrného materiálu a materiálu modelu (viz. obr. 4.9) [22].



Obr. 4.9 Vyplnění podpory Sparse.

**Minimal (Minimální)** – tento typ tvorby výplně se používá pouze pro tvorbu malých modelů, které nepotřebují žádné nosné části podpory. Tento režim je navržen tak, aby odstranění podpory bylo co nejrychlejší. Výrobce nedoporučuje použití tohoto režimu při tvorbě větších částí [22].

**Break – away** – toto nastavení kombinuje nastavení *Sparse* a *Minimal*. Vzdálenost rastrových drah je stejná jako u nastavení *Sparse*. Způsob tvorby podpory se však liší. Jednotlivé dráhy nejsou uzavřené křivky. Tím dojde k navýšení potřebného času při stavbě podpor. Výhodou této metody je snížení času na odstranění podpory [22].

**Surround (Obklopit)** – tento typ tvorby podpor je nejvíce časově i materiálově náročný. Tiskárna při tvorbě modelu postupně obaluje celý model podporou. Toto nastavení je vhodné pro velmi štíhlé a vysoké modely [22].

Při tisku modelu bylo vybráno vyplnění podpor Sparse.

#### 4) Number of copies (Počet kopií)

Tiskárna umožňuje vytisknout i větší počet stejných součástí najednou. Limitující je zde pouze rozměr podložky.

### 5) STL unit (STL jednotky)

Soubory \*.stl nemají definovány jednotky. Je tedy nutné jednotky určit. Software nabízí milimetry i palce [22].

### 6) STL scale (STL měřítko)

Tady je možné změnit měřítko bez nutnosti opětovného otevření souboru v CAD softwaru a uložení do \*.stl [22].

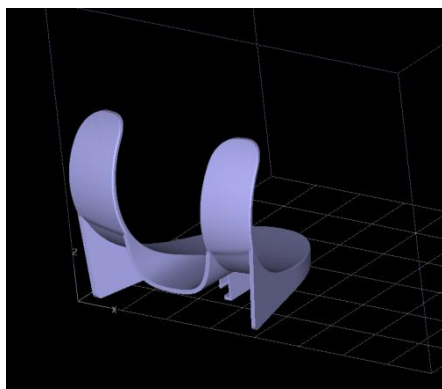
#### 4.1.4 Tisk prototypu držáku na tiskárně Dimension uPrint

Po zkonstruování v programu Autodesk Inventor 2009 byly oba modely uloženy do formátu \*.stl a otevřeny v programu CatlystEX. Byly nastaveny následující vlastnosti.

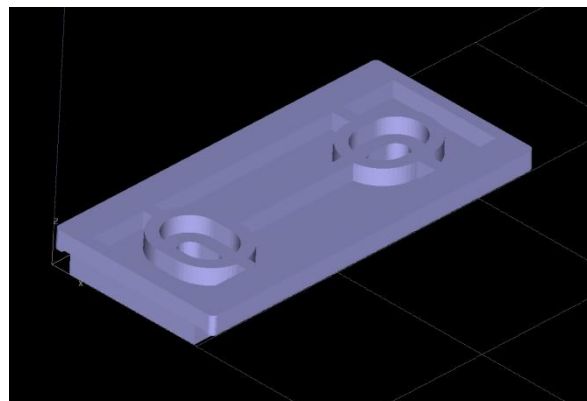
Properties	
Layer resolution:	1 0,2540
Model interior:	2 Sparse - high density
Support fill:	3 Sparse
Number of copies:	4 1
STL units:	5 Millimeters
STL scale:	6 1,000

Obr. 4.10 Nastavené vlastnosti tisku prototypu.

Modely je nutné umístit na podložku tak, aby riziko zborcení součásti bylo co nejmenší. Pokud by modely nebyly takto orientovány, tisk modelů by probíhal podstatně delší dobu a při tisku by muselo být použito velké množství podpůrného materiálu. Zvolená orientace tisku obou součástí je vidět na obr. 4.10 a obr. 4.11.

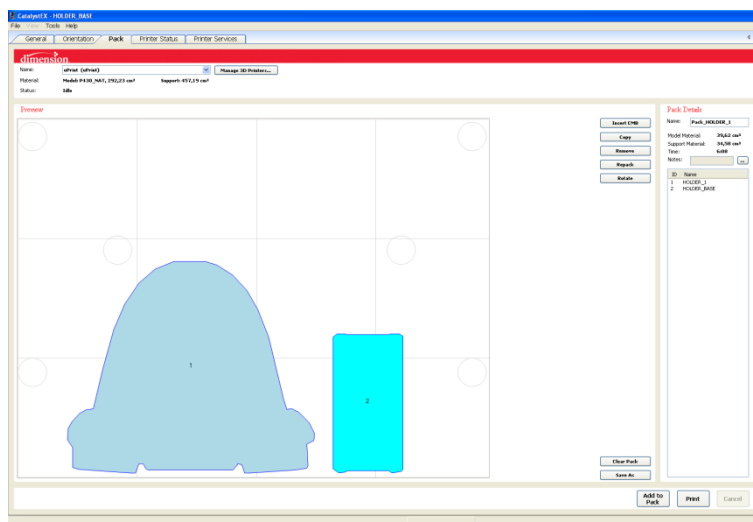


Obr. 4.10 Orientace vzhledového dílu.

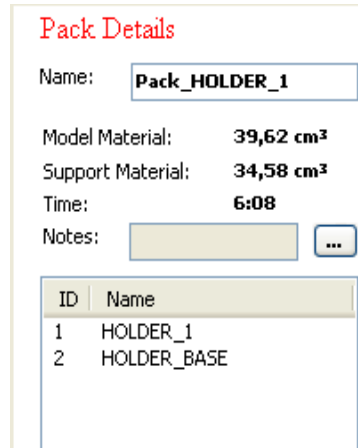


Obr. 4.11 Orientace nosného dílu.

Obě součástky nejsou nijak rozměrově náročné, a proto byly umístěny vedle na podložku (viz. obr. 4.12) a vytisknuty najednou.



Obr. 4.12 Umístění dílů na podložku.

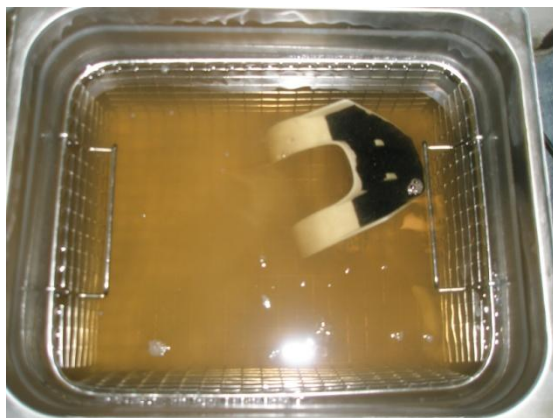


Obr. 4.13 Detail tisku.

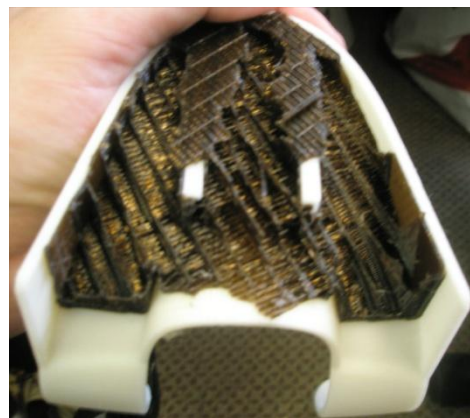
Software poté vypočítal potřebné množství materiálu modelu, materiálu podpory a čas potřebný pro tisk modelu (viz. obr. 4.13). Tímto jsou součásti připravené k tisku.

Součásti byly odeslány na tisk do 3D tiskárny. Příkaz Start model se musí ještě manuálně potvrdit přímo na tiskárně. Aby mohl začít tisk součásti, musí být teplota v pracovním prostoru tiskárny 74°C, což je temperační teplota tisknutého *ABSplus* materiálu. Tisk probíhá v bezobslužném režimu.

Po skončení tisku se oddělí model od podložky. Takto vytisknutý model má na svém povrchu materiál podpory, který je ale nežádoucí. Materiál podpory je odstraněn v ultrazvukové pračce, což je kovová vana naplněná roztokem (viz kapitola 4.1.2). Tento roztok za podpory ultrazvuku rozpouští materiál podpory. Rozpouštěcí proces (viz. obr. 4.14) může u složitějších součástí trvat i několik hodin. Pro zkrácení celkové doby čištění je vhodné snadno přístupné části podpory odlomit (viz. obr. 4.15). Je nutné dbát zvýšené opatrnosti, aby nedošlo k poškození prototypu.



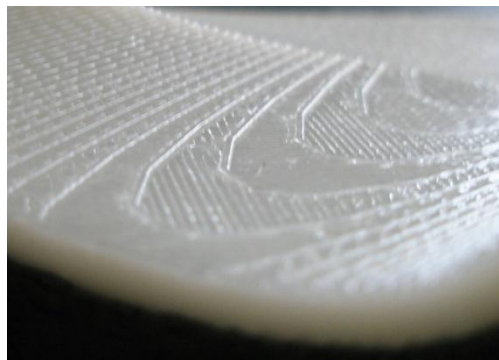
Obr. 4.14 Rozpouštění podpory.



Obr. 4.15 Odlomená podpora.



Po odstranění veškeré podpory vzniknou funkční modely, které ale nemají hladký povrch (viz. obr. 4.16). Příčinou je nastavením tloušťky tisknutého materiálu a tvarová složitost vyráběné součástky. Proto je nutné povrch součástek upravit.



Obr. 4.16 Struktura povrchu prototypu.

### Post-processing

Pro úpravu povrchu obou součástek prototypu byl použit tmel ve spreji *MOTIP FILLER*. Postupným nanesením a vytvrzením třech vrstev tmelu bylo docíleno zaplnění drobných nerovností. Poté byl povrch důkladně vybroušen až na materiál modelu. Povrch byl broušen smirkovým papírem P400. Postupným nanášením tmelu a broušením povrchu smirkovými papíry P600 a P800 byl vytvořen velmi hladký povrch. Tento proces byl opakován celkem 4x. Pro lepší vzhled povrchu je možné v závěru model nalakovat.

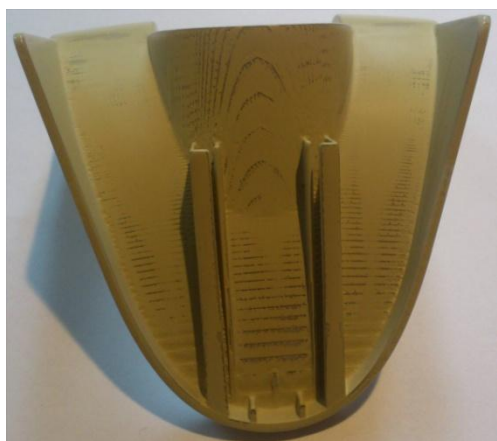
Průběh úprav byl zaznamenán na obr. 4.17 až obr. 4.20.



Obr. 4.17 První nanesení tmelu.



Obr. 4.18 Druhé nanesení tmelu.



Obr. 4.19 Druhé broušení.



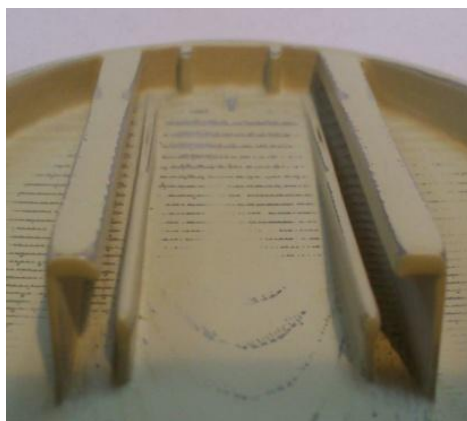
Obr. 4.20 Konečný povrch prototypu.

## 4.2 Výroba prototypu odlitku ze silikonové formy

Další efektivní metodou tvorby prototypů je odlitek ze silikonové formy. Hlavní výhodou je větší počet vyrobených prototypů se zaručenou přesností na jednu silikonovou formu. V této kapitole bude popsána výroba silikonové formy na větší vzhledový díl prototypu.

### Silikonová forma

Aby bylo možné odlitek ze silikonové formy vyjmout bez poškození formy nebo odlitku, je nutné dopředu promyslet postavení odlitku, s ohledem na jeho tvarovou složitost. Podle těchto faktorů navrhnu vhodný počet dělicích rovin a jejich umístění.



Obr. 4.21 Nebezpečné místo odlitku.

Hlavní problém odlitku byl ve spojení vzhledového a nosného dílu obr. 21. Tloušťka stěn vzhledového dílu je v těchto místech velice malá a při vyjímání odlitku ze silikonové formy by mohlo dojít k odtržení těchto částí.

S ohledem na toto kritické místo byla určena jedna dělicí rovina, která byla umístěna na zadní stěnu vzhledového dílu. Silikonová forma bude tedy složena ze dvou částí. Pro vyjmutí z formy bude nutné odlitek ze spodní části formy vysouvat kolmo vzhůru, proti směru zasouvání do druhého nosného dílu prototypu.

Aby bylo možné odlitek se silikonové formy vysouvat, je nutné stěny drážky velmi dobře vybrousit. V opačném případě silikon vyplní nerovnosti povrchu a vysunutí odlitku bez poškození by bylo obtížné.

### Výroba silikonové formy

Výroba silikonové formy začíná umístěním RP modelu na skleněnou desku. RP model byl obklopen modelovací hmotou tak, aby se do tekutého silikonu obtiskly všechny vnější plochy. Kolem ustaveného modelu na základní desce byly postaveny čtyři skleněné desky (viz. obr. 4.22). Boční desky byly pomocí tavné pistole připevněny k základní desce a vždy k okolním dvěma deskám. Při upevňování zadní skleněné desky byla pomocí modelovací hmoty utěsněna zadní část RP modelu (viz. obr. 4.23). Při vyplnění celé zadní části modelovací hmotou by mohl nastat problém při jejím odstraňování. Drobné částičky hmoty by mohly zůstat uvnitř drážky. Tím by na výsledném modelu vznikly nepřesnosti.



Obr. 4.22 Utěsnění modelovací hmotou.



Obr. 4.23 Postavení skleněných desek.

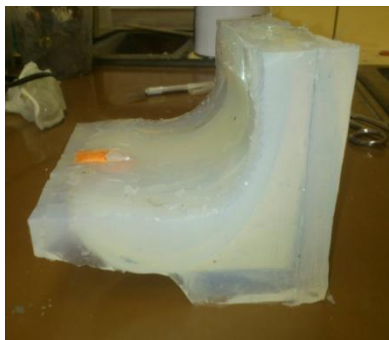
Takto usazený model vyplňuje především spodní a jednu z bočních stěn formy. Z ekonomických důvodů bylo vytvořeno těleso z modelovací hmoty, které mělo vyplnit nevyužitý prostor uvnitř skleněné krychle. Těleso bylo do formy zavěšeno pomocí lepicí pásky a dřevěné tyčky. Pro zamezení pohybu tělesa při nalévání silikonu, byla tyčka přilepena tavnou pistolí k bokům formy (viz. obr. 4.24). Na závěr byla vytvořena vtoková soustava, která byla umístěna na nejvyšší místo RP modelu. Forma byla odlita technologií vakuového lití ve vakuové komoře.



Obr. 4.24 Upevnění tělesa.



Pro odlití první části byl odhadnut objem a odváženo 600g Silikonu *Silastic T-4* a 60g tužidla. Sikon se míchá s tužidlem v poměru 10:1. Obsah silikonu byl přesně rozdělen do dvou nádob, kde byly důkladně promíchán s tužidlem. Takto připravená směs byla vložena do vakuové komory (viz. obr. 4.27) a zbavena vzduchu (viz. obr. 4.26). Po ukončení vakuování byla směs odlita do připravené formy, kde tvrdla přibližně 12 hodin. Po vytvrdnutí byly z formy odstraněny skleněné desky a veškerý formovací materiál (viz. obr. 4.25).



Obr. 4.25 1. Polovina formy.



Obr. 4.26 Vakuování silikonu.

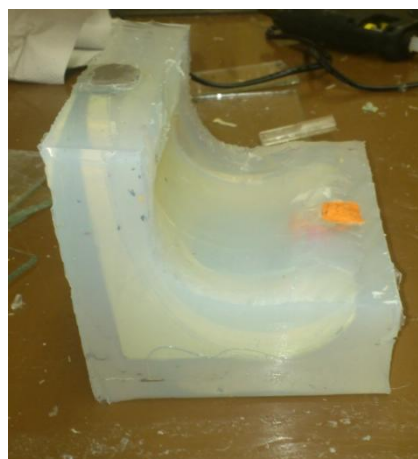


Obr. 4.27 Vakuová komora.

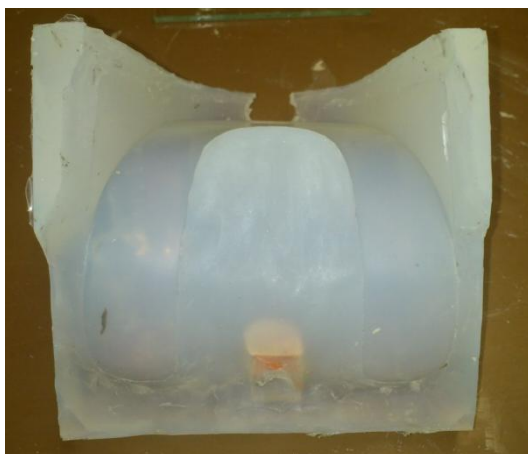
Pro odlití druhé části formy byla použita již vyrobená první část. Vyrobená část byla otočena a znovu obestavěna skleněnými deskami (viz. obr. 4.28). Veškerý povrch byl potřen separačním prostředkem, aby nedošlo ke spojení obou silikonových dílů. Na druhý díl formy bylo použito stejné množství silikonu jako na část první. Příprava silikonu probíhala stejně jako u první části. Po vytvrzení silikonu byly odstraněny skleněné desky (viz. obr. 4.29) a byl vyjmut RP model se vtokovou soustavou. Z hotových částí formy obr. 4.30 a obr. 4.31 byl odstraněný zatečený silikon pomocí nůžek a skalpelu. Obě části byly spojeny dohromady pomocí ocelových spon. Vyrobená forma byla připravena pro odlévání prototypů z pryskyřice.



Obr. 4.28 Výroba druhé poloviny.



Obr. 4.29 Hotová forma s FDM modelem.



Obr. 4.30 Horní díl formy.



Obr. 4.31 Spodní díl formy.

### Odlitek z pryskyřice

Pro odlití modelu byla použita dvousložková pryskyřice EBALTA SG 2000. Pryskyřice EBALTA SG 2000 A se míchá v poměru 1:1 s plnidlem EBALTA 2000 B. Z programu Autodesk Inventor byl odhadnut objem a následně hmotnost potřebné směsi na 100 g. Na přesných digitálních vahách bylo odváženo 50g Pryskyřice A a 50g plnidla B. Obě složky byly slity do jedné nádoby a důkladně promíchány. Takto připravená pryskyřice byla po částech nalita do připravené formy vtokovým otvorem (viz. obr. 4.32). Po nalití části pryskyřice byla forma vždy nakloněna pro snadnější a rychlejší odstranění vzduchových bublin ve směsi. Celá reakce probíhala poměrně rychle. Během 5min se z roztoku stala tuhá hmota. Poté je již pryskyřice nepoužitelná. Tuhnutí pryskyřice je exotermická reakce, při níž uvolňuje se teplo. Dobu vytvrdnutí pryskyřice výrobcem předepisována 1 – 2h po odlití. Po této době byly odstraněny ocelové spony a forma byla otevřena. Odlitek byl kvůli kritickému místu vyjmut velice opatrně (viz. obr. 4.33). Na závěr byl pomocí pilníku a smrkového papíru odstraněn vtok a zatečená vrstvička v dělicí rovině. Tímto byl odlitek dokončen (viz. obr. 4.34 a obr. 4.35).



Obr. 4.32 Odlévání prototypu.



Obr. 4.33 Neupravený prototyp.



Obr. 4.34 Hotový odlitek spodní pohled.



Obr. 4.35 Hotový odlitek horní pohled.

## 5 TECHNICKO-KONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

V této kapitole budou zhodnoceny náklady na výrobu prototypu držáku vysoušeče technologií RP a silikonové formy. Bude zjištěn hraniční počet kusů, který určí, kdy bude výhodné používat technologii RP a kdy metodu výroby prototypu pomocí silikonové formy.

### 5.1 Náklady na výrobu modelu metodou Fused Depositing Modeling

Náklady na výrobu prototypu pomocí technologie RP se skládají nejen z nákladů na vlastní tisk FMD modelu, ale i z nákladů na dokončení modelu, tedy Post-processing. Náklady byly vypočítány podle vztahu (1)

$$N_{PR} = N_T + N_{PP} \quad (1)$$

kde:

$N_{PR}[\text{Kč}]$	-	náklady na výrobu FMD modelu,
$N_T[\text{Kč}]$	-	náklady na tisk,
$N_{PP}[\text{Kč}]$	-	náklady na Post-processing.

Náklady na tisk  $N_T$  jsou v podstatě náklady na použitý materiál. Pro tisk prototypu se používají dva materiály, *ABSplus* a tzv. support. Materiál *ABSplus* je vlastní model. Support slouží jako podpěra. Náklady na tisk byly vypočítány podle vztahu (2)

$$N_T = N_M \cdot V_M + N_{POD} \cdot V_{POD} \quad (2)$$

kde:

$N_T[\text{Kč}]$	-	náklady na tisk,
$N_M[\text{Kč} \cdot \text{cm}^{-3}]$	-	náklady na $1\text{cm}^3$ materiálu modelu <i>ABSplus</i> ,
$N_{POD}[\text{Kč} \cdot \text{cm}^{-3}]$	-	náklady na $1\text{cm}^3$ materiálu podpory,
$V_M[\text{cm}^3]$	-	objem modelu,
$V_{POD}[\text{cm}^3]$	-	objem podpory.

Náklady na Post-processing  $N_{PP}$  jsou v porovnání nákladů na tisk velmi malé. Zanedbatelné však nejsou. Náklady tvoří pořizovací cena tmelu a smirkového papíru. Při tisku tvarově složité součásti je spotřeba tmelu velká. Pro Post-processing byl použit tmel ve spreji *MOTIP FILLER* a 3 druhy smirkového papíru (P600, P800, P1000). Náklady na Post-processing byly vypočítány podle vztahu (3).

$$N_{PP} = N_{TM1} + N_{SMR} \quad (3)$$

kde:

$N_{PP}[\text{Kč}]$	-	náklady na Post-processing,
$N_{TM1}[\text{Kč}]$	-	náklady tmelu na jeden kus,
$N_{SMR}[\text{Kč}]$	-	náklady na nákup smirkového papíru.

Protože na jeden model se nespotřebuje celé balení tmelu, je v nákladech zahrnuta pouze poměrná část. Jedno balení tmelu vystačí odhadem na 10 prototypů. Náklady na jeden model byly vypočítány podle vztahu (4).

$$N_{TM1} = x_1 \frac{N_{TM}}{10} \quad (4)$$

kde:  $N_{TM1}$  [Kč] - náklady na jeden model,  
 $x_1$  [-] - počet kusů prototypů,  
 $N_{TM}$  [Kč] - náklady na pořízení jednoho balení tmelu *MOTIP FILLER*.

### Výpočet nákladů na výrobu jednoho Fused Deposition Modeling prototypu

$N_M = 14,40$  [Kč · cm<sup>-3</sup>];  $N_{POD} = 14,40$  [Kč · cm<sup>-3</sup>];  $V_M = 33,38$  cm<sup>3</sup>;

$V_{POD} = 31,84$  cm<sup>3</sup>;  $N_{TM} = 297$  [Kč];  $N_{SMR} = 20$  [Kč];  $x_1 = 1$ ;

$$N_{PR} = N_T + N_{PP}$$

$$N_{PR} = N_M \cdot V_M + N_{POD} \cdot V_{POD} + x_1 \frac{N_{TM}}{10} + N_{SMR}$$

$$N_{RP} = 14,40 \cdot 33,38 + 14,40 \cdot 31,84 + 29,7 + 20$$

$$N_{RP} = 988,87 \text{ Kč}$$

### 5.2 Náklady na výrobu silikonové formy

Náklady na výrobu silikonové formy jsou obecně větší, než náklady na výrobu RP modelu. Silikonová forma má ovšem tu výhodu, že z ní nezískáme pouze jediný model. Firma MCAE Systems, s.r.o. garantuje trvanlivost jedné formy při zachování rozměrové přesnosti vyrobené z materiálu *Silastic T-4* pro 5 kusů odlitků. Když přihlídneme k tomu, že se jedná o universální držák, nemusíme brát rozměrovou přesnost jako hlavní faktor. Proto byla kapacita jedné formy zvýšena na 10 kusů.

Náklady na výrobu silikonové formy většího vzhledového dílu se skládají z nákladů na výrobu prototypu pomocí technologie RP metodou FMD, výroby samotné silikonové formy a nákladů na materiál odlitku. Náklady na výrobu silikonové formy byly vypočítány podle vztahu (5).

$$N_{SF} = x_2 \cdot N_F + x_1 \cdot N_{OD} + N_{RP1} \quad (5)$$

kde:  $N_{SF}$  [Kč] - náklady na výrobu odlitku ze silikonové formy,  
 $N_F$  [Kč] - náklady na výrobu silikonové formy,  
 $N_{OD}$  [Kč] - náklady na materiál odlitku,  
 $N_{RP1}$  [Kč] - náklady na výrobu jednoho RP prototypu,  
 $x_1$  [-] - počet vyráběných kusů,  
 $x_2$  [-] - počet forem pro výrobu série prototypů při dané kapacitě jedné formy.

Počet forem pro výrobu série prototypů při dané kapacitě jedné formy se vypočítá ze vztahu (6).

$$x_2 = n; \text{ pro } (n - 1)k < x_1 \leq nk, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (6)$$

kde:  $x_2 [-]$  - počet forem pro výrobu série prototypů při dané kapacitě jedné formy,  
 $x_1 [-]$  - počet požadovaných kusů pro výrobu,  
 $k [-]$  - kapacita jedné formy ( $k = 10$ ).

Náklady na výrobu silikonové formy  $N_F$  tvoří pořizovací cena silikonu *Silastic T-4* a tvrdidla. Započítána je pouze poměrná část balení.

$$N_F = \frac{(m_s + m_t) \cdot N_s}{m_{bs} + m_{bt}} \quad (7)$$

kde:  $N_F [\text{Kč}]$  - náklady na výrobu silikonové formy,  
 $N_s [\text{Kč}]$  - pořizovací cena silikonu a tvrdidla ( $m_{bt} = 3630 \text{ Kč}$ ),  
 $m_s [\text{g}]$  - hmotnost použitého silikonu,  
 $m_t [\text{g}]$  - hmotnost použitého tvrdidla,  
 $m_{bs} [\text{g}]$  - hmotnost celého balení silikonu ( $m_{bs} = 5000 \text{ g}$ ),  
 $m_{bt} [\text{g}]$  - hmotnost celého balení tvrdidla ( $m_{bt} = 1000 \text{ g}$ ),

Náklady na materiál odlitku  $N_{OD}$  tvoří pořizovací cena pryskyřice *SG 2000*. Balení pryskyřice obsahuje 2 části. Jedna je vlastní pryskyřice *SG 2000 A* a druhá je tužidlo *SG 2000B*. Započítána je také pouze poměrná část.

$$N_{OD} = \frac{(m_A + m_B) \cdot N_P}{m_{bA} + m_{bB}} \quad (8)$$

kde:  $N_{OD} [\text{Kč}]$  - náklady na materiál odlitku,  
 $N_P [\text{Kč}]$  - pořizovací cena pryskyřice,  
 $m_A [\text{g}]$  - hmotnost pryskyřice *SG 2000 A*,  
 $m_B [\text{g}]$  - hmotnost tužidla *SG 2000 B*,  
 $m_{bA} [\text{g}]$  - hmotnost celého balení pryskyřice *SG 2000 A*,  
 $m_{bB} [\text{g}]$  - hmotnost celého balení tužidla *SG 2000 B*.

### Výpočet nákladů na výrobu silikonové formy

$$N_{SF} = x_2 \cdot N_F + x_1 \cdot N_{OD} + N_{RP}$$

$$N_{SF} = x_2 \cdot \frac{(m_s + m_t) \cdot N_S}{m_{bs} + m_{bt}} + x_1 \cdot \frac{(m_A + m_B) \cdot N_P}{m_{bA} + m_{bB}} + N_{RP1}$$

$$N_{SF} = 1 \cdot \frac{(600 + 60) \cdot 3630}{5000 + 1000} + 1 \cdot \frac{(40 + 40) \cdot 196}{1000 + 1000} + 988,87$$

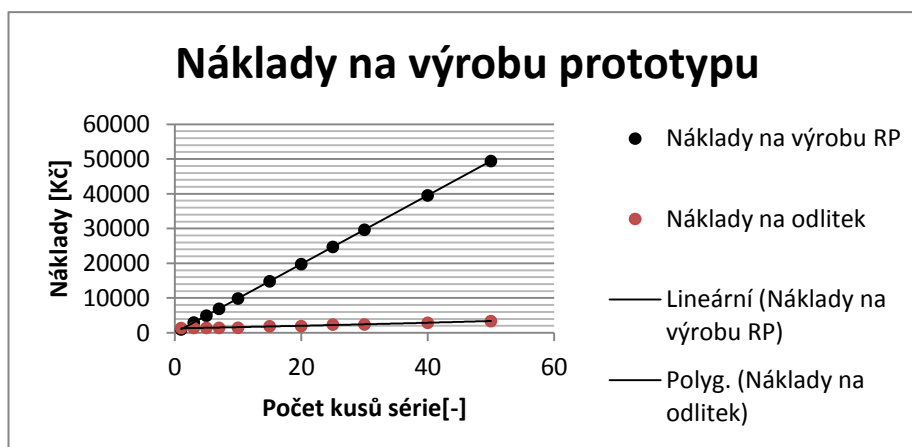
$$N_{SF} = 1396,01 \text{ Kč}$$

### 5.3 Porovnání nákladů na výrobu prototypu pomocí silikonové formy a technologií Rapid Prototyping

Vhodnost použité metody po stránce ekonomické je úzce závislá na počtu vyrobených kusů. Abychom našli konkrétní množství, pro které je ještě výhodné použít RP model a pro které už silikonovou formu, vytvoříme tabulku (viz. tab. 5.1) nákladů pro série s různými počty kusů a hodnoty vyneseme do grafu. Tak nalezneme mezní bod, který ukazuje vhodnost použití jednotlivých metod pro výrobu prototypů.

Tab. 5.1 Porovnání nákladů.

Počet kusů série	Náklady RP [Kč]	Náklady SF [Kč]
1	988,87	1396,01
3	2966,60	1411,69
5	4944,34	1427,37
7	6922,07	1443,05
10	9888,68	1466,57
15	14833,02	1905,07
20	19777,36	1944,27
25	24721,71	2382,77
30	29666,04	2421,97
40	39554,72	2899,67
50	49443,41	3377,37



Obr. 5.1 Náklady na výrobu prototypu.

V grafu jsou vidět rozdíly v nákladech při použití jednotlivých metod. Hodnoty získané pouze z nákladů na použitý materiál při výrobě prototypu oběma metodami ale nejsou reálné a je jasné, že nejsou ani správné. Důležitou veličinou je také čas specializovaného pracovníka, který prototyp vyrábí. Výroba prototypu odlitím byla totiž výrazně časově náročnější, než výroba prototypu tiskem na 3D tiskárně a proto se musí zohlednit i čas výroby.

Pro získání reálných hodnot byl proveden odhad času práce specializovaného pracovníka na základě vlastních zkušeností z výroby prototypů. Pro FMD byl proveden odhad cca 4 hodiny. U odlitku ze silikonové formy cca 19,5 hodiny. V času práce na odlitku je již zahrnut i čas práce na tvorbu FMD modelu, nutného pro vytvoření formy (4 hodiny) a čas práce na odlití každého odlitku a případné drobné opravy (cca 0,5 hodiny).

Po konzultaci s odborníkem z praxe byla odhadnuta cena za 1 hodinu práce specializovaného pracovníka na 500 Kč.

Po zahrnutí práce specializovaného pracovníka byly upraveny vztahy (1) a (5) následovně:

$$N_{RPR} = (N_T + N_{PP} + t \cdot N_{SP}) \cdot x_1 \quad (9)$$

- kde:  $N_{RPR}$  [Kč] - reálné náklady na výrobu prototypu technologií RP,  
 $N_T$  [Kč] - náklady na tisk,  
 $N_{PP}$  [Kč] - náklady na Post-processing,  
 $t$  [h] - čas práce specializovaného pracovníka ( $t = 4$  h),  
 $N_{SP}$  [Kč · h<sup>-1</sup>] - náklady specializovaného pracovníka za jednu hodinu,  
 $N_{SP} = 500$  [Kč · h<sup>-1</sup>],  
 $x_1$  [-] - počet kusů série.

$$N_{SFR} = x_2 \cdot N_F \cdot t_F \cdot N_{SP} + x_1 \cdot N_{OD} \cdot t_{OD} \cdot N_{SP} + N_{RPR1} \quad (10)$$

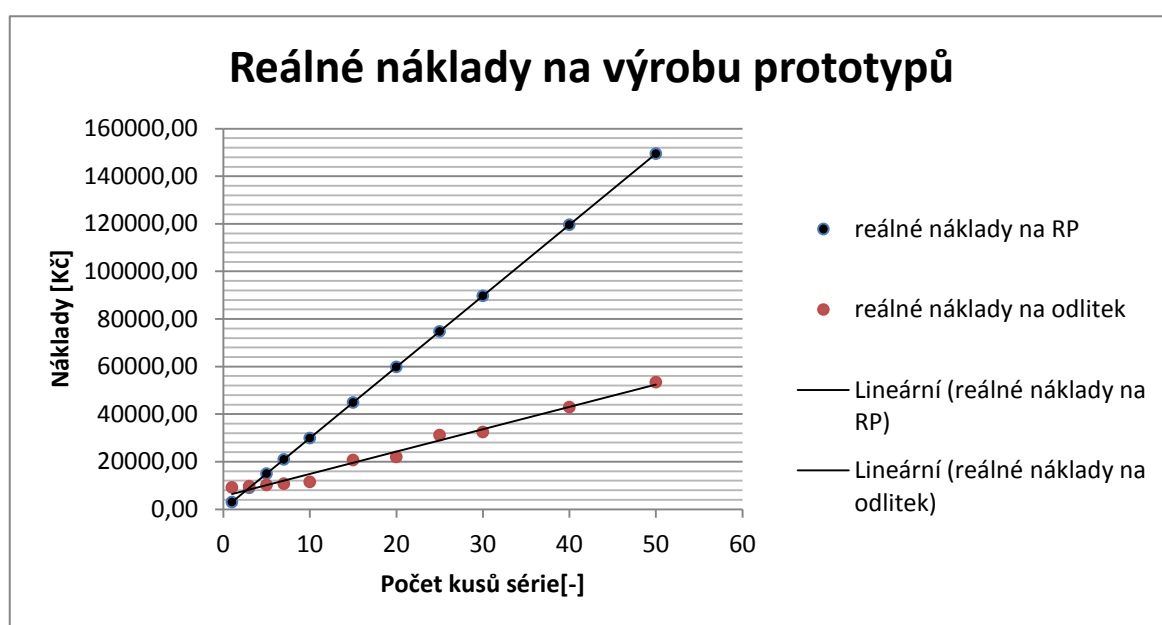
- kde:  $N_{SFR}$  [Kč] - reálné náklady na výrobu silikonové formy,  
 $N_F$  [Kč] - náklady na výrobu silikonové formy,  
 $N_{OD}$  [Kč] - náklady na materiál odlitku,  
 $N_{RPR1}$  [Kč] - náklady na výrobu jednoho RP prototypu,  
 $x_1$  [-] - počet vyráběných kusů,  
 $x_2$  [-] - počet forem pro výrobu série prototypů při dané kapacitě jedné formy,  
 $t_F$  [h] - čas práce na výrobě formy ( $t_F = 15$  h),  
 $t_{OD}$  [h] - čas práce na odlití jednoho odlitku ( $t_{OD} = 0,5$  h),  
 $N_{SP}$  [Kč · h<sup>-1</sup>] - náklady specializovaného pracovníka za jednu hodinu,  
 $(N_{SP} = 500$  [Kč · h<sup>-1</sup>]).



Podle takto upravených vzorců byla vytvořena tabulka nákladů (viz. tab. 5.2), která zahrnuje i čas specializovaného pracovníka:

Tab. 5.2 Reálné náklady na výrobu prototypu.

Počet kusů série	Náklady RP [Kč]	Náklady SF [Kč]
1	2988,87	9146,01
3	8966,60	9661,69
5	14944,34	10177,37
7	20922,08	10693,05
10	29888,68	11466,57
15	44833,02	20655,07
20	59777,36	21944,27
25	74721,70	31132,77
30	89666,04	32421,97
40	119554,72	42899,67
50	149443,40	53377,37

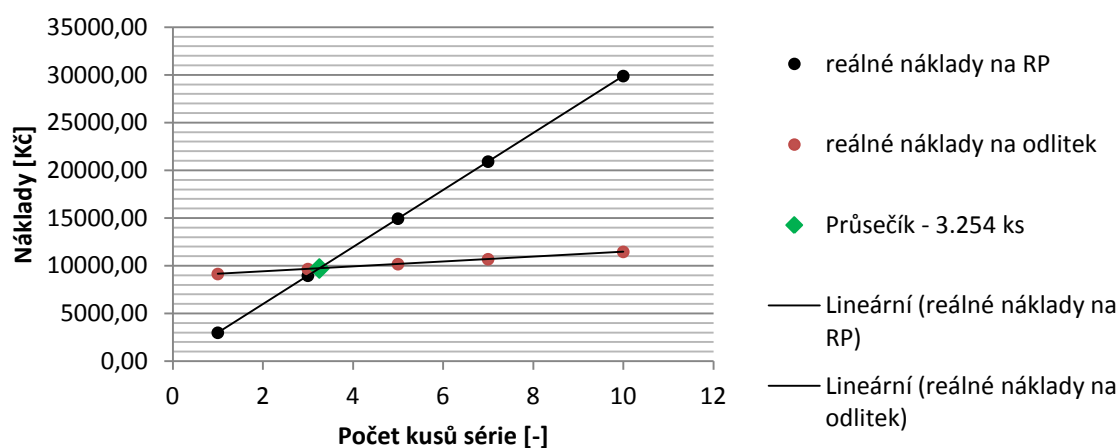


Obr. 5.2 Reálné náklady na výrobu prototypu.

Z porovnání grafu obr. 5.1 a grafu obr. 5.2 je patrný nárůst ceny odlitků. Je vidět, že technologie RP je z ekonomického hlediska velice dobře použitelná při výrobě jednotlivých kusů. Naopak silikonová forma je vhodná při výrobě větších sérií.

Z grafické závislosti je zřejmé, že hraniční oblast bude v intervalu 1 – 10 kusů. Proto lepší názornost byl vytvořen graf pouze této oblasti (viz. obr. 5.3).

### Reálné náklady na výrobu prototypů interval 1 - 10 kusů



Obr. 5.3 Reálné náklady interval 1 – 10 kusů.

Z grafické závislosti je vidět, že náklady na technologii RP - metoda FMD velice strmě rostou od nuly. Vhodnost metody FDM je tedy 3 - 4 kusy. Reálné náklady na odlitek vzrůstají pomalu. Nevýhodou jsou vysoké náklady na zhotovení formy a tím i vysoké náklady na tvorbu jen několika málo kusů. Náklady na odlitek vzrůstají skokově vždy při tvorbě nové formy, tj. při 11., 21., 31. a 41. kusu. Vhodnost použití technologie odlitku je od 4 – 5 kusů výše.

## ZÁVĚR

Tato práce byla zaměřena na výrobu prototypu univerzálního držáku na vysoušeče vlasů firmy ETA, a.s., s využitím moderních technologií. Pro tvorbu virtuálního 3D modelu byl využit software Autodesk Inventor 2009. Prototypy byly vyrobeny aditivní technologií Rapid Prototyping, metodou Fused Deposition Modeling a technologií odlévání do silikonové formy.

V teoretické části práce je uvedena historie firmy ETA, a.s., pro kterou byl univerzální držák vytvořen a řešerše současných technologií výroby prototypů – technologie Rapid Prototyping, metoda Fused Deposition Modeling a technologie odlévání do silikonové formy.

V praktické části byl proveden návrh univerzálního držáku na vysoušeče vlasů značky ETA. Pro tvorbu 3D modelu byl využit program Autodesk Inventor. Byl navrhnout univerzální dvoudílný držák, který splňoval předepsané vlastnosti.

3D virtuální model byl vytisknut na zařízení Dimension uPrint. Vytisknutý master model byl ručně dokončen a byl použit pro výrobu silikonové formy technologií vakuového lití. Z ekonomických důvodů byla vytvořena pouze jedna silikonová forma, a to forma většího a tvarově zajímavějšího vzhledového dílu. Vyrobena silikonová forma byla gravitačně odlita pryskyřicí EBALTA 2000.

Obě technologie výroby byly porovnány z technicko-ekonomického hlediska. Z grafických závislostí je zřejmé, že v praxi je při volbě technologie výroby důležitý nejen počet kusů, ale i čas výroby prototypu. Metoda Fused Deposition Modeling je poměrně drahá avšak velmi rychlá. Oproti tomu technologie odlévání do silikonové formy je časově náročná, ale při výrobě i malé série prototypů finančně výhodná. Z grafické závislosti reálných křivek nákladů byla určena vhodnost použití aditivní technologie Rapid Prototyping, metody Fused Deposition Modeling, do 3 – 4 kusů. Vhodnost použití technologie odlévání do silikonové formy byla odhadnuta na cca 4 – 5 kusů podle tvarové složitosti vyráběného prototypu.

Všechny cíle bakalářské práce byly splněny.

**SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ**

1. SLOTA, J., MANTIČ, M., GAJDOŠ, I., *Rapid Prototyping a Reverse Engineering v strojárství*, Edícia študijnej literatury, Strojnícká fakulta TU v Košiciach 2010, 207 s., ISBN 978-80-553-0548-6.
2. IRONS, I., Prototype Zone Webside, US. *History of Rapid Prototyping* [online]. [vid. 2012-02-07]. Dostupné z <http://www.prototypezone.com/prototype-forum/general-prototype-info/history-of-rapid-prototyping/view>.
3. WIKIPEDIE, *Eta (firma)* [online]. [vid. 2012-02-07]. Dostupné z [http://cs.wikipedia.org/wiki/ETA\\_\(firma\)#Historick.C3.A1\\_ocen.C4.9Bn.C3.AD](http://cs.wikipedia.org/wiki/ETA_(firma)#Historick.C3.A1_ocen.C4.9Bn.C3.AD).
4. BACKER ELEKTRO CZ a.s., Hlinsko, ČR. *Historie a vývoj* [online]. [vid. 2012-02-07]. Dostupné z <http://www.backer-elektro.cz/cz/historie.shtml>.
5. *55 let výroby elektrospotřebičů v Hlinsku*. Hlinsko: ETA, a.s., 1998, 47 s.
6. TENEZ a.s., Chotěboř, ČR. *Historie* [online]. [vid. 2012-02-17]. Dostupné z <http://www.tenez.cz/app/sekce/12/historie>.
7. ETA a.s., Hlinsko, ČR. *Historie společnosti* [online]. [vid. 2012-02-07]. Dostupné z <http://eta.cz/historie>.
8. ELEKTROSERVIS GAJDOŠTÍN, Šumperk, ČR. *Partneři* [online]. [vid. 2012-02-07]. Dostupné z <http://www.gajdostin.com/partneri/>.
9. GEBHARDT, A., *Rapid prototyping*. 1st ed. p. cm., Carl Hanser Verlag, Munich 2003, 379 s., ISBN 3-446-21259-0.
10. EVEKTOR, spol. s.r.o., Kunovice, ČR. *3D tisk technologií FDM* [online]. [vid. 2012-05-13]. Dostupné z <http://www.evektor.cz/3d-tisk-fdm.aspx>.
11. INOMIA a.s., Jaroměř, ČR. *Platové prototypy – 3D tisk* [online]. [vid. 2012-05-13]. Dostupné z <http://www.innomia.cz/cs/plastove-prototypy-3d-tisk>.
12. PK MODEL, spol. s.r.o., Praha, ČR. *Technologie 3D tisku* [online]. [vid. 2012-05-13]. Dostupné z <http://www.pkmodel.cz/3Dtisk.html>.
13. SPŠ NA PROSEKU, Praha, ČR. *FDM – Fused Deposition Modeling* [online]. [vid. 2012-05-14]. Dostupné z <http://www.sps-prosek.cz/soubory/S/CAX/FDM.pdf>.
14. EVEKTOR, spol. s.r.o., Kunovice, ČR. *Vakuové lití FDM* [online]. [vid. 2012-05-13]. Dostupné z <http://www.evektor.cz/vakuove-liti.aspx>.
15. MCAE SYSTEMS, spol. s.r.o., Kuřim, ČR. *Vakuové lití* [online]. [vid. 2012-05-14]. Dostupné z <http://www.mcae.cz/vakuove-liti>.
16. CAD STUDIO a.s., Praha, ČR. *Autodesk inventor* [online]. [vid. 2012-05-14]. Dostupné z <http://www.cadstudio.cz/inventor>.
17. CADWIKI, *Autodesk Inventor* [online]. [vid. 2012-05-14]. Dostupné z <http://www.cadwiki.cz/Inventor.ashx?HL=inventor>.
18. AUTODESK WIKIHELP, *Nápověda k produktu Autodesk Inventor* [online]. [vid. 2012-05-14]. Dostupné z <http://www.cadwiki.cz/Inventor.ashx?HL=inventor>.

19. ELMAX a.s., Těrlicko, ČR. *Příslušenství* [online]. [vid. 2012-04-23]. Dostupné z <http://www.elmax.cz/prislusenstvi-3/>.
20. MCAE SYSTEMS, spol. s.r.o., Kuřim, ČR. *Dimension uPrint* [online]. [vid. 2012-04-23]. Dostupné z <http://www.mcae.cz/dimension-uprint>.
21. VOLNY, *VGT1990QT celokovová ultrazvuková čistička* [online]. [vid. 2012-04-23]. Dostupné z <http://www.volny.cz/matejkatvs/prodej/naradi/ultrazvukovavana/ultrazvukovavana2.htm#VGT1990QT>.
22. CatalystEX 4.0.1<sup>®</sup>, © 2010 Stratalys Inc. Eden Prairie, MN. Všechna práva vyhrazena [online]. [vid. 2012-04-23]. Dostupné z <http://www.dimensionprinting.com/applications/rapid-prototyping.aspx>.

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Jednotka	Popis
<b>2D</b>	[-]	Two Dimensional/rovinný
<b>3D</b>	[-]	Three Dimensional/prostorový
<b>ABS</b>	[-]	Akrylonitril-Butadien-Styren.
<b>CAD</b>	[-]	Computer Aided Design
<b>FDM</b>	[-]	Fused Deposition Modeling
<b>IAM</b>	[-]	Formát souboru sestavy Autodesk Inventor
<b>IPT</b>	[-]	Formát souboru součásti Autodesk Inventor
<b>SLA</b>	[-]	Stereolithography
<b>STL</b>	[-]	Souborový formát pro ukládání prostorových těles
<b>atd.</b>	[-]	a tak dále
<b>cca</b>	[-]	cirka/ přibližně
<b>např.</b>	[-]	například
<b>tj.</b>	[-]	to je

Symbol	Jednotka	Popis
<b>N<sub>F</sub></b>	[Kč]	Náklady na výrobu silikonové formy
<b>N<sub>OD</sub></b>	[Kč]	Náklady na materiál odlitku
<b>N<sub>P</sub></b>	[Kč]	Pořizovací cena pryskyřice
<b>N<sub>POD</sub></b>	[Kč.cm <sup>-3</sup> ]	Náklady na 1 cm <sup>3</sup> materiálu podpory
<b>N<sub>PP</sub></b>	[Kč]	Náklady na post-processing
<b>N<sub>RP</sub></b>	[Kč]	Náklady na výrobu prototypů technologií RP
<b>N<sub>RP</sub></b>	[Kč]	Náklady na výrobu jednoho prototypu technologií RP
<b>N<sub>RPR</sub></b>	[Kč]	Reálné náklady na výrobu prototypů technologií RP
<b>N<sub>RPR1</sub></b>	[Kč]	Reálné náklady na výrobu jednoho prototypu technologií RP

$N_s$	[Kč]	Požizovací cena silikonu a tvrdidla
$N_{SF}$	[Kč]	náklady na výrobu odlitku ze silikonové formy
$N_{SFR}$	[Kč]	Reálné náklady na výrobu silikonové formy
$N_{SMR}$	[Kč]	Náklady na nákup smirkového papíru
$N_{SP}$	[Kč.h <sup>-1</sup> ]	Náklady specializovaného pracovníka za jednu hodinu
$N_T$	[Kč]	Náklady na tisk
$N_{TM}$	[Kč]	Požizovací náklady jednoho balení MOTIP FILLER
$N_{TM1}$	[Kč]	Náklady tmelu na jeden kus
$V_M$	[cm <sup>3</sup> ]	Objem modelu
$V_{POD}$	[cm <sup>3</sup> ]	Objem podpory
$k$	[-]	Kapacita jedné formy
$m_A$	[g]	Hmotnost pryskyřice SG 2000 A
$m_B$	[g]	Hmotnost pryskyřice SG 2000 B
$m_{bA}$	[g]	Hmotnost celého balení pryskyřice SG 2000 A
$m_{bB}$	[g]	Hmotnost celého balení pryskyřice SG 2000 B
$m_{bS}$	[g]	Hmotnost celého balení silikonu
$m_{bt}$	[g]	Hmotnost celého balení tvrdidla
$m_s$	[g]	Hmotnost použitého silikonu
$m_t$	[g]	Hmotnost použitého tvrdidla
$t_F$	[h]	Čas práce na výrobě formy
$t_{OD}$	[h]	Čas práce na odlití jednoho odlitku
$t_{PR}$	[h]	Čas práce na úpravu RP modelu
$x_1$	[-]	Počet vyráběných kusů
$x_2$	[-]	Počet forem pro výrobu série prototypů při dané kapacitě formy

**SEZNAM PŘÍLOH**

- Příloha 1 Bezpečnostní list - Jakostní rychletvrdnoucí velmi tekutá licí hmota se separátním plnivem EBALTA SG 2000/2000L
- Příloha 2 Bezpečnostní list - Silikonkaoučuková vysokopevnostní tepelně odolná hmota SILASTIK T-4



# PŘÍLOHA 1

## EBALTA

Kunststoff GmbH  
8803 Rothenburg  
ob der Tauber

## Speciální pryskyřice

pro slévárenské modely, jaderníky, mod.zař.  
tmely, plniva pomocné látky, voskové fol.  
separátory, bloky PU - umělé dřevo, a jiné

## Jakostní rychletvrdnoucí 2000/2000L

velmi tekutá licí hmota  
se separátním plnivem

### Všeobecně:

Ebalta SG 2000 je jakostní, téměř nepáchnoucí dvousložková polyuretanová licí hmota bez plniva, které lze při smíchání obou složek přidat.

Velká tekutost nám umožňuje vysoký stupeň plnění.

Druh plniva ovlivňuje vlastnosti a pevnost pryskyřice.

### Doporučujeme následující plniva:

F - B / opracovatelné /  
F - A / otěruvzdorné /  
F - Alu  
a další

### Vlastnosti

- \* vysoká pevnost
- \* dokonalé celkové vytvrzení
- \* velmi tekutá
- \* vysoký stupeň plnění
- \* tepelná odolnost a stálost

### Použití

- \* slévárenské modely, jaderníky modelové plotny
- \* negativy všeho druhu
- \* pomocné formy
- \* prototypy, kontrolní odlitky
- \* vakuové hlubokotažné formy
- \* formy pro umělé hmoty

## ebalta SG

### Technický návod

#### Vlastnosti a údaje:/bez plniva !!!/

Barva pryskyřice komp.A : bílá  
tužidlo komp.B : světle žlutá  
Viskozita směsi mPas : 40 - 60  
Hustota směsi kg/dm<sup>3</sup> : 1,10  
Tvrdość Shore D při 20°C: 70 - 75  
Pevnost v tlaku N/mm<sup>2</sup> : 55 - 60  
Pevnost v tahu N/mm<sup>2</sup> : 40 - 45  
Pevnost v ohybu N/mm<sup>2</sup> : 70 - 75  
E - modul /ohyb/ N/mm<sup>2</sup> : 1300 - 1500  
Rázová houžev. KJ/mm<sup>2</sup> : 24 - 27  
Tepelná odolnost bez plniva: 60-70 °C  
Tepelná odolnost s plnivem : 90-100°C

#### Podmínky pro použití:

Poměr: 100 hm.dílů pryskyřice komp.A  
100 hm.dílů tužidla komp.B

Doba zprac. 200 g při 20°C:

SG 2000S SG 2000 SG 2000 L  
3-4 min. 3 min. 7-8 min.

Vytvrzení/vyjmutí z formy/:

SG 2000S SG 2000 SG 2000 L  
15-30 min. 30-60 min. 60-90 min.

#### Skladovací schopnost

v uzavřeném stavu min. : 1/2 roku

Pryskyřici před každým použitím dobře zamíchat.

Po každém použití hned uzavřít obal.

#### Balení:

pryskyřice: 1 kg; 5 kg; 25 kg; 50 kg  
tužidlo : 1 kg; 5 kg; 25 kg; 50 kg

plnivo F-A, F-B, F-Alu

K upozornění:

Tyto údaje a doporučení byly sestaveny s největší starostlivostí na základě zkoušek a dlouholetých praktických zkušeností. Protože ale nelze kontrolovat zpracování spotřebitelem, nemůže být při různorodosti možností užití a pracovních metod převzata žádná záruka.

Zástupce pro ČR

679 07 Kotvrdovice 277 \* tel.: 516 443 572, fax: 516 443 573